



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT RETROFIT
SISTEM PROTEKSI DI PT. PERTAMINA RU III PLAJU**

Abdulloh Iskandar
NRP 2210 100 103

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

***PROTECTION COORDINATION STUDY CAUSED BY
RETROFIT OF PROTECTION SYSTEM AT
PT. PERTAMINA RU III PLAJU***

Abdulloh Iskandar
NRP 2210 100 103

Advisor
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT RETROFIT SISTEM
PROTEKSI DI PT. PERTAMINA RU III PLAJU**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,



Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

NIP. 196603181990101001

Ir. Sjamsjul Anam, MT.

NIP. 196307251990031002



**SURABAYA
JANUARI, 2015**

STUDI KOORDINASI PROTEKSI AKIBAT RETROFIT SISTEM PROTEKSI DI PT. PERTAMINA RU III PLAJU

Nama : Abdulloh Iskandar
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRAK

Sistem proteksi tenaga listrik memiliki peran yang sangat penting dalam menjamin kontinuitas proses produksi pada suatu industri. Namun, seiring berjalannya waktu maka tingkat keandalan dari peralatan sistem proteksi akan semakin menurun dan perlu diperbarui. PT. Pertamina RU III Plaju memiliki sistem proteksi eksisting yang sudah tua sehingga sering terjadi *malfuction*. Oleh karena itu, direncanakan melakukan penggantian peralatan proteksi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi sehingga kontinuitas proses produksi tetap optimal. Pada setting rele eksisting hanya ada *setting* invers saja, sehingga saat melakukan penggantian rele diperlukan studi koordinasi proteksi untuk mendapatkan *setting* yang sesuai. Sehubungan dengan hal tersebut, maka tugas akhir ini difokuskan pada studi koordinasi proteksi untuk mengetahui setting rele yang tepat setelah penggantian peralatan sistem proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju. Dalam melakukan koordinasi proteksi diperlukan analisis aliran daya dan hubung singkat. *Grading time* antar rele diatur sesuai standar IEEE 242 yaitu 0,2 s/d 0,3 s dan *time delay* dikoordinasikan sehingga rele tersebut dapat bekerja dengan benar. Hasil koordinasi proteksi ini dapat melindungi dari gangguan berupa beban lebih dan hubung singkat.

Kata kunci : koordinasi, proteksi, retrofit, setting rele.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

PROTECTION COORDINATION STUDY CAUSED BY RETROFIT OF PROTECTION SISTEM AT PT. PERTAMINA RU III PLAJU

Name : Abdulloh Iskandar
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRACT

Electric power protection system has a very important role in ensuring continuity in an industrial production process. However, over time the level of reliability of the equipment protection system will decrease and need to be updated. PT. Pertamina RU III Plaju have existing protection systems which are old so often malfunction occurs. Therefore, the planned replacement of protective equipment to improve the reliability of the protection system so that the continuity of the production process remains optimal. In the existing relay settings only inverse setting only, so while doing the replacement of relay, protection coordination studies is needed to get the appropriate settings. In connection with this, the final project is focused on protection coordination studies to determine the proper relay settings after replacement protection system equipment in PT. Pertamina RU III Plaju. The coordination of protection required power flow and short circuit analysis. Grading time between relay set according to the IEEE 242 standard is 0.2 to 0.3 s and the time delay can be coordinated so that the relay is working correctly. The coordination of this protection can protect from fault in the form of overload and short circuit.

Keywords : coordination, protection, relay setting, retrofit.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, Puji syukur yang sangat mendalam kami panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya yang tiada terkira penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas akhir yang berjudul **“Studi Koordinasi Proteksi Akibat Retrofit Sistem Proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju”** diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam tugas akhir ini dilakukan studi mengenai koordinasi proteksi untuk mengetahui *setting* rele *overcurrent* dan *ground fault* yang tepat setelah dilakukan retrofit peralatan sistem proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju.

Pengerjaan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bpk. Akhmad Nasukha dan Ibu Umama (Alm.), orang tua penulis yang tiada lelah memanjatkan do'a dan memberikan semangat untuk penulis.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Ir. Sjamsjul Anam, MT., dosen yang dengan sabar membimbing penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Mas Andikta, Mas Nadir, Mas Isa, Mas Wahyu, Mas Dimas, serta rekan-rekan asisten LIPIST yang telah menemani penulis dalam berdiskusi dan menggali ilmu.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak. Penulis berharap pembaca dapat memberikan saran dan kritik bagi buku ini untuk menjadi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2015

Penulis,

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

	HALAMAN
Halaman Judul	
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	
Lembar Pengesahan	
Abstrak	i
Abstract	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
 BAB 1 Pendahuluan	 1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
1.6 Manfaat.....	4
 BAB 2 Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik	 5
2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2 Gangguan Beban Lebih	5
2.3 Gangguan Hubung Singkat	5
2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat	6
2.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa	7
2.4.2 Hubung Singkat 2 Fasa	7
2.4.3 Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah	7
2.5 Trafo Aros/Current Transformer	8
2.6 Rele Pengaman	8
2.7 Rele Arus Lebih	9
2.7.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers	9
2.7.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	11
2.7.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	12
2.8 Penyetelan Rele Arus Lebih	13
2.8.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers	14
2.8.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	14
2.9 Koordinasi Berdasarkan Arus Dan Waktu	15

2.10 Rele Gangguan Ke Tanah	15
BAB 3 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju	17
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju.....	17
3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan Demand	17
3.3 Kapasitas Pembangkitan	19
3.4 Sistem Distribusi di PT. Pertamina RU III Plaju	19
3.5 Beban	21
BAB 4 Hasil Simulasi Dan Analisis Koordinasi Proteksi PT. Pertamina RU III Plaju	23
4.1 Pemodelan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju	23
4.2 Pemilihan tipikal koordinasi pada PT. Pertamina RU III Plaju ...	23
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	25
4.3.1 Analisis Hubung Singkat Minimum	25
4.3.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum	26
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	28
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	28
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	48
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	57
4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	70
4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5	76
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah	82
4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 3	83
4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 4	90
4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 5	95
BAB 5 Penutup	101
5.1 Kesimpulan	101
5.2 Saran	101
Daftar Pustaka	103
Biografi Penulis	105
Lampiran	107

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Arah aliran arus ketika terjadi hubung singkat	6
Gambar 2.2 Skema konsep kerja rele pengaman	8
Gambar 2.3 Karakteristik kurva invers pada standar ANSI	10
Gambar 2.4 Karakteristik kurva invers pada standar IEC	11
Gambar 2.5 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu	12
Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih <i>instant</i>	12
Gambar 2.7 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan ..	13
Gambar 3.1 <i>Single line diagram</i> PT. Pertamina RU III Plaju	18
Gambar 4.1 Tipikal koordinasi 1 dan 2	24
Gambar 4.2 Tipikal koordinasi 3, 4 dan 5	25
Gambar 4.3 Rangkaian tipikal 1a, tipikal 1b dan tipikal 1c	29
Gambar 4.4 <i>Time-current curve</i> tipikal 1a	37
Gambar 4.5 <i>Time-current curve</i> tipikal 1b	43
Gambar 4.6 <i>Time current curve</i> tipikal 1c	48
Gambar 4.7 Rangkaian tipikal 2	49
Gambar 4.8 <i>Time-current curve</i> tipikal 2	57
Gambar 4.9 Rangkaian tipikal 3a dan tipikal 3b	58
Gambar 4.10 <i>Time-current curve</i> tipikal 3a	64
Gambar 4.11 <i>Time-current curve</i> tipikal 3b	70
Gambar 4.12 Rangkaian tipikal 4	71
Gambar 4.14 Rangkaian tipikal 5	77
Gambar 4.15 <i>Time-current curve</i> tipikal 5	81
Gambar 4.16 Rangkaian tipikal 3 <i>ground fault</i> zona 1	83
Gambar 4.17 <i>Time-current curve</i> tipikal 3 <i>ground fault</i> zona 1	85
Gambar 4.18 Rangkaian tipikal 3 <i>ground fault</i> zona 2	86
Gambar 4.19 <i>Time-current curve</i> tipikal 3 <i>ground fault</i> zona 2	90
Gambar 4.20 Rangkaian tipikal 4 <i>ground fault</i> zona 1	91
Gambar 4.21 <i>Time-current curve</i> tipikal 4 <i>ground fault</i> zona 1	93
Gambar 4.22 Rangkaian tipikal 4 <i>ground fault</i> zona 2	94
Gambar 4.23 <i>Time-current curve</i> Tipikal 4 <i>ground fault</i> zona 2	95
Gambar 4.24 Rangkaian tipikal 5 <i>ground fault</i> zona 1	96
Gambar 4.25 <i>Time-current curve</i> tipikal 5 <i>ground fault</i> zona 1	98
Gambar 4.26 Rangkaian tipikal 5 <i>ground fault</i> zona 2	99
Gambar 4.27 <i>Time-current curve</i> tipikal 5 <i>ground fault</i> zona 2	100

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontinuitas pasokan daya pada suatu industri sangat diperlukan untuk menjamin terlaksananya proses produksi. Apabila sistem kelistrikan industri tersebut mengalami gangguan maka proses produksi pada industri tersebut dapat berhenti beroperasi dan menimbulkan kerugian yang cukup besar. Gangguan yang terjadi juga dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan yang mendukung proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan adanya sistem proteksi untuk mengamankan peralatan dari gangguan yang mungkin terjadi.

Peralatan proteksi yang digunakan pada sistem kelistrikan juga harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi agar setiap terjadi gangguan pada sistem maka peralatan proteksi yang terpasang dapat bekerja mengamankan gangguan tersebut. Namun, seiring berjalannya waktu maka tingkat keandalan dari peralatan sistem proteksi akan semakin menurun. Oleh sebab itu, pada suatu titik, maka peralatan proteksi tersebut harus diperbarui untuk mendapatkan sistem proteksi yang memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Dengan adanya sistem proteksi yang handal diharapkan gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi sehingga daerah-daerah lain tidak terganggu pasokan dayanya. Lebih lanjut diperlukan koordinasi dari alat-alat sistem proteksi tersebut agar tidak terjadi kesalahan kerja dari masing-masing sistem proteksi. Diharapkan ketika terjadi gangguan maka pemutus atau *circuit breaker* (CB) yang terletak paling dekat dengan titik gangguan bekerja terlebih dahulu. Ketika CB yang paling dekat dengan titik gangguan gagal mengamankan maka CB *backup*nya akan segera bekerja sesuai *setting* waktu yang telah ditetapkan.

PT. Pertamina RU III Plaju memiliki sistem proteksi eksisting yang sudah tua dan sering terjadi *malfunction*. Oleh karena itu, direncanakan melakukan penggantian peralatan proteksi untuk meningkatkan keandalan sistem proteksi sehingga kontinuitas proses produksi tetap optimal. Penggantian peralatan proteksi ini sekaligus untuk memperbarui teknologi rele yang digunakan. Rele elektromekanik yang ada saat ini perlu diganti dengan rele numerik yang memiliki lebih presisi dan setting relay akan lebih fleksibel. Selain itu, rele numerik juga dapat diintegrasikan dengan sistem SCADA di PT. Pertamina RU III Plaju untuk keperluan measurement dan sistem monitoring. Pada

setting rele eksisting hanya ada *setting* invers saja, sehingga saat melakukan penggantian ke rele numerik diperlukan studi koordinasi proteksi ulang untuk mendapatkan *setting* yang sesuai. Sehubungan dengan hal tersebut, maka tugas akhir ini difokuskan pada studi koordinasi proteksi untuk mengetahui setting rele yang tepat setelah penggantian peralatan sistem proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju.

1.2 Permasalahan

Permasalahan utama yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana setelan dan koordinasi rele arus lebih dan rele pengaman gangguan ke tanah yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju setelah dilakukan retrofit sistem proteksi.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan setelan dan koordinasi rele arus lebih dan rele pengaman gangguan tanah yang tepat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju yang baru setelah dilakukan retrofit sistem proteksi.

1.4 Metodologi

Metode penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Hal yang dilakukan pertama kali yaitu mempelajari buku serta referensi yang berhubungan dengan koordinasi proteksi. Hal ini dilakukan untuk menambah pemahaman mengenai permasalahan yang dihadapi dan mengetahui langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

2. Pengumpulan data

Mengumpulkan data-data mengenai sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju meliputi *single line diagram* dan data peralatan seperti rating generator, motor, bus, trafo, sistem pentanahan dan lainnya.

3. Pemodelan sistem

Memodelkan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju dalam bentuk *single line diagram* menggunakan *software* ETAP 7.5. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat melakukan simulasi untuk mengetahui aliran daya dan besarnya arus gangguan hubung singkat.

4. Simulasi aliran daya

Simulasi aliran daya dilakukan untuk mengetahui aliran daya serta tegangan pada setiap bus di sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju.

5. Simulasi gangguan hubung singkat

Simulasi gangguan hubung singkat dilakukan untuk mendapatkan besar arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum pada setiap bus. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa. Nilai arus gangguan tersebut digunakan untuk menentukan setting rele pengaman.

6. Analisis simulasi

Dari simulasi yang dilakukan akan didapatkan suatu hasil simulasi yang selanjutnya akan digunakan sebagai komponen untuk melakukan perhitungan setting koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah.

7. Pembuatan laporan tugas akhir

Laporan tugas akhir berisi hasil analisis koordinasi rele pengaman arus lebih dan gangguan ke tanah. Dengan nilai setting yang telah didapatkan diharapkan sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan selektif dalam memutus arus gangguan yang muncul.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini pembahasan akan dibagi menjadi 5 bab dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang pembuatan tugas akhir, permasalahan yang akan diangkat, tujuan dan manfaat tugas akhir, metodologi penulisan serta sistematika penulisan tugas akhir.

Bab 2 : Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih dan Gangguan ke Tanah

Bab ini berisi teori-teori penunjang yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju

Bab ini berisi tentang sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju, meliputi bagaimana konfigurasinya serta beberapa hal mengenai operasi sistem tenaga listrik di PT. Pertamina RU III Plaju.

Bab 4 : Hasil Simulasi Dan Analisis Koordinasi Proteksi Di PT. Pertamina RU III Plaju

Dalam bab ini dibahas mengenai perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Bab ini menyajikan analisis terhadap koordinasi proteksi yang baru ketika terjadi gangguan hubung singkat sehingga menghasilkan koordinasi proteksi yang tepat.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan, saran dan rekomendasi dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan.

1.6 Manfaat

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu menjadi referensi dan rekomendasi bagi PT. Pertamina RU III Plaju, khususnya berkaitan dengan koordinasi rele pengaman arus lebih dan gangguan ke tanah. Selain itu, tugas akhir ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya tentang koordinasi rele pengaman arus lebih dan gangguan ke tanah.

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Sistem proteksi merupakan komponen pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus gangguan. Selain itu sistem proteksi juga berfungsi untuk melokalisir dampak gangguan sehingga peralatan pada daerah lain tetap dapat beroperasi. Sistem proteksi yang terpasang harus diatur sedemikian rupa agar dapat memutuskan arus gangguan yang muncul dengan cepat dan selektif ketika terjadi gangguan. Rele yang terdekat dengan lokasi gangguan harus dapat memutuskan arus gangguan yang terjadi secepat mungkin. Jika rele ini gagal mengamankan gangguan tersebut maka rele diatasnya yang menjadi backup akan segera bekerja sesuai *setting* waktu yang telah ditentukan.

2.1 Gangguan Sistem Tenaga Listrik [1]

Saat terjadi gangguan pada suatu sistem akan mengalir arus yang besar menuju ke titik gangguan. Arus gangguan tersebut memiliki nilai yang lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur pada peralatan yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

2.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.3 Gangguan Hubung Singkat

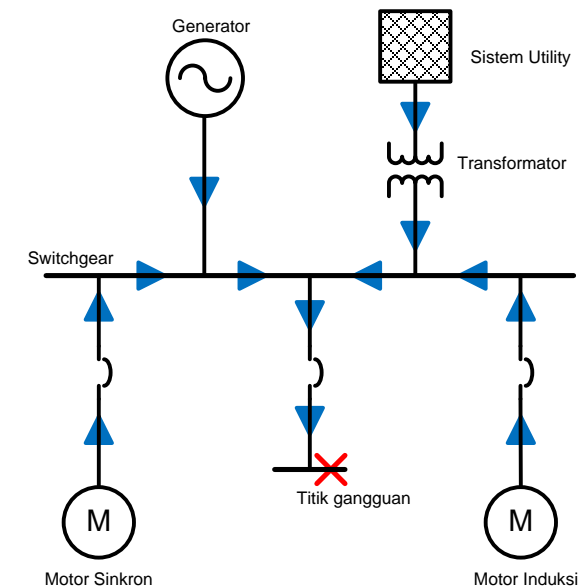
Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak

simetri. Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya *circuit breaker*.

2.4 Perhitungan Arus Hubung Singkat [2]

Arus yang cukup tinggi akan akan mengalir dari sumber ke titik gangguan pada saat terjadi hubung singkat. Sumber arus hubung singkat yaitu : sistem *utility*, generator, motor sinkron dan motor induksi. Besarnya arus yang mengalir ini dipengaruhi oleh nilai reaktansi sumber dan reaktansi pada rangkaian yang dilalui arus hubung singkat. Arah aliran arus ketika terjadi gangguan hubung singkat dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arah aliran arus ketika terjadi hubung singkat

Reaktansi pada beberapa cycle pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi subtransient atau *subtransient reactance* (X''_d). Beberapa cycle kemudian arus hubung singkat cenderung menurun dan reaktansi pada saat ini disebut dengan reaktansi transien atau *transient reactance* (X'_d) dan akhirnya kondisinya mencapai steady state dan reaktansinya disebut dengan reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* (X_d). Pada kondisi *steady state* sistem *utility*, generator dan motor sinkron masih memberikan arus kontribusi, sedangkan motor induksi sudah tidak memberikan arus kontribusi.

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dapat dilakukan sebagai berikut :

2.4.1 Hubung Singkat 3 Fasa

Hubung singkat 3 fasa adalah hubung singkat yang melibatkan ketiga fasanya. Besarnya arus hubung singkat tiga fasa ($I_{sc\ 3\phi}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \quad (2.1)$$

Dengan V_{LN} adalah tegangan nominal *line to neutral*, dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

2.4.2 Hubung Singkat 2 Fasa

Hubung singkat 2 fasa yaitu hubung singkat yang terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Besarnya arus hubung singkat 2 fasa (I_{sc2}) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times X_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc\ 3\phi} \approx 0,866 \times I_{sc\ 3\phi} \quad (2.2)$$

Dengan V_{LL} adalah tegangan nominal *line to line*, dan X_2 adalah reaktansi urutan negatif.

2.4.3 Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol, dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Besarnya arus hubung singkat 1 fasa ($I_{sc\ 1\phi}$) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3 \times V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0 + 3 \times Z_g} \quad (2.3)$$

Apabila sistem menggunakan pentanahan solid maka $Z_g = 0$, sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3 \times V_{LN}}{3 \times X_1} = I_{sc\ 3\phi} \quad (2.4)$$

2.5 Trafo Arus (*Current Transformer*)

Current Transformer (CT) merupakan peralatan yang berfungsi mentransformasikan besaran arus listrik agar dapat diaplikasikan untuk keperluan pengukuran ataupun proteksi. CT digunakan jika arus yang mengalir melalui jaringan terlalu besar sehingga tidak sesuai dengan *rating* peralatan pengukuran maupun proteksi. Selain itu, CT juga berfungsi untuk mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primernya. Gambar konstruksi transformator arus ditunjukkan pada Gambar 2.1. Prinsip kerja tranformator arus sama dengan transformator 1 fasa. Ketika arus mengalir pada kumparan primer maka akan timbul gaya gerak magnet yang kemudian menghasilkan *fluks* pada inti. *Fluks* tersebut kemudian akan mengalir menuju kumparan sekunder dan menghasilkan tegangan terinduksi pada kumparan sekunder. Jika terminal pada sisi sekunder tertutup dan tranformator tersebut merupakan transformator ideal maka berlaku persamaan :

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s \text{ atau } \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.5)$$

Dengan :

- N_p : Jumlah belitan kumparan primer
- N_s : Jumlah belitan kumparan sekunder
- I_p : Arus kumparan primer
- I_s : Arus kumparan sekunder

2.6 Rele Pengaman

Rele merupakan salah satu peralatan sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memberi sinyal kepada pemutus tenaga (PMT) agar dapat memutuskan atau menghubungkan pelayanan penyaluran pada elemen sistem tenaga listrik. Rele dapat memberi sinyal kepada PMT untuk memutuskan suatu saluran pada sistem tenaga listrik jika terjadi gangguan di titik operasi.



Gambar 2.2 Skema konsep kerja rele pengaman

Analisis untuk setting dan koordinasi peralatan pengaman (rele dan breaker/fuse) memperhatikan beberapa hal antara lain :

- a. Fungsi sensitivitas, peralatan pengaman harus dapat merasakan dan mengamankan arus gangguan minimum pada titik gangguan yang terdekat.
- b. Fungsi selektivitas, peralatan pengaman tidak boleh bekerja untuk arus starting motor dan arus pengisian (inrush current) pada transformator. Untuk peralatan pengaman yang berada di hulu harus dapat merasakan gangguan pada titik gangguan yang berada di hilir dan operasinya harus menunggu apabila terjadi kegagalan operasi pemutusan gangguan oleh peralatan pengaman dibawahnya (sisi hilir)
- c. Fungsi koordinasi, kerja peralatan pengaman dalam menjalankan fungsi sensitivitas dan selektivitas untuk daerah hulu sampai ke hilir harus dikoordinasikan dari segi penyetelan waktu dan arusnya. Dari hasil koordinasi tidak boleh terjadi adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja secara bersamaan waktu (di luar ketentuan yang dikehendaki), waktu pemutusan gangguan yang melampaui batas ketahanan peralatan listrik dan sebagainya.

2.7 Rele Arus Lebih

Salah satu jenis rele pengaman yang sering digunakan dalam sistem tenaga listrik sebagai pengaman peralatan adalah rele arus lebih. Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [5]. Rele ini memiliki prinsip kerja yaitu ketika CT sebagai sensing dari rele ini dilewati arus yang melebihi nilai *setting*nya maka rele ini akan segera bekerja. Dengan kata lain, rele akan beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan.

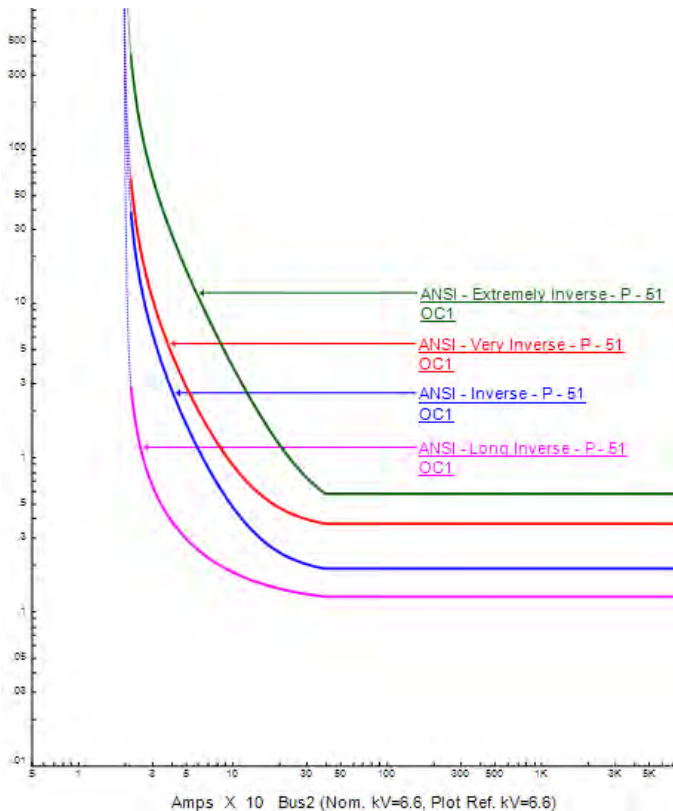
Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

2.7.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

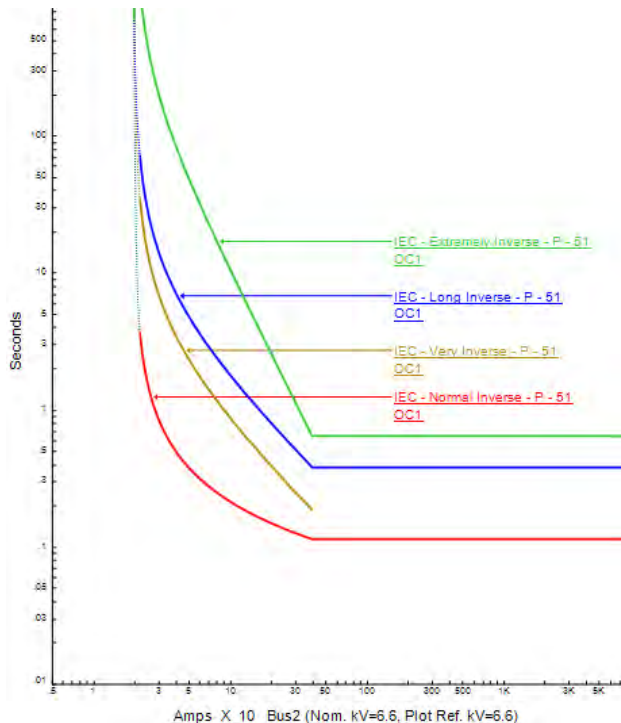
Rele arus lebih waktu invers memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan [3]. Jadi, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. TCC (*time-current characteristic*) adalah kurva dengan

skala dalam *time dial*. Semakin besar *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut.

Karakteristik invers ini dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan IEEE std 242-2001. Standar-standar ini mendefinisikan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse*, *long inverse* dan *extremely inverse* seperti pada Gambar 2.3 dan 2.4. Kurva invers ini sering dijumpai dengan *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya.



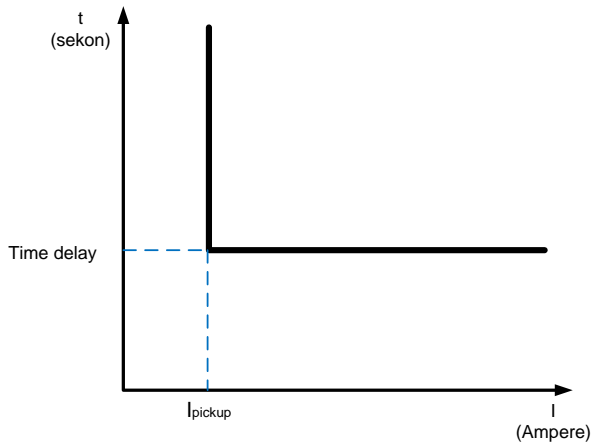
Gambar 2.3 Karakteristik kurva invers pada standar ANSI



Gambar 2.4 Karakteristik kurva invers pada standar IEC

2.7.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

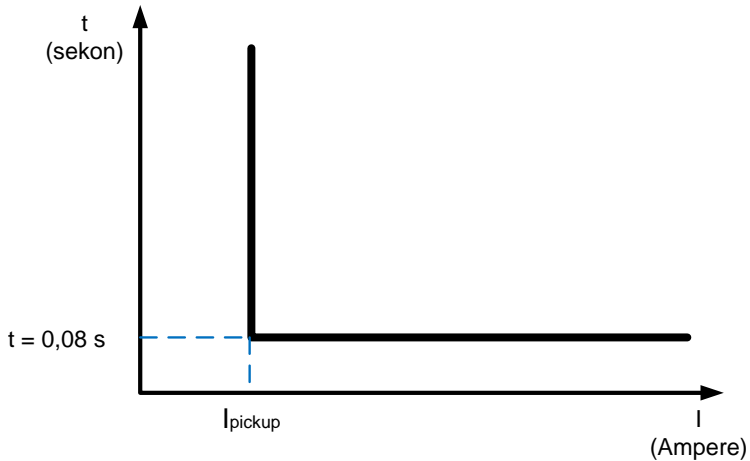
Rele arus lebih ini dapat diatur waktu operasi yang bervariasi berdasarkan *level* arus yang berbeda. Sehingga dengan menggunakan rele arus lebih ini gangguan yang paling dekat dapat diputus dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang *disetting*. Semua *level* arus yang melebihi *pickup setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2.5 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

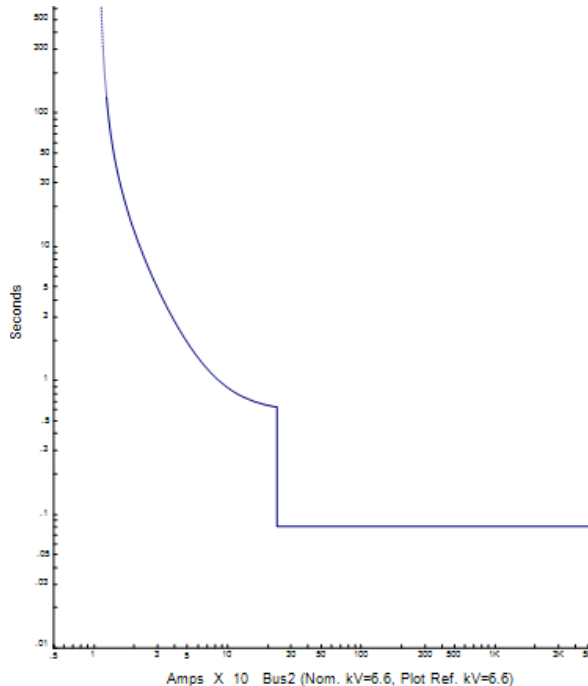
2.7.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 0.1detik, pada umumnya kurang dari 0.08 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Karakteristik rele arus lebih *instant*

Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms). Gambar 2.7 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan



Gambar 2.7 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu tertentu

2.8 Penyetelan Rele Arus Lebih

Untuk melakukan *setting* pada rele arus lebih maka perlu dilakukan studi aliran daya dimana studi aliran daya merupakan tulang punggung dari analisis dan desain sistem tenaga dengan digunakan untuk perencanaan, pengoperasian, penjadwalan secara ekonomis, dan perpindahan daya antar peralatan [4]. Setelah melakukan studi aliran daya maka dilakukan studi hubung singkat agar didapat nilai arus hubung singkat sebagai salah satu nilai parameter dari rele. Studi hubung singkat dilakukan untuk menentukan arus dan tegangan

maximum & minimum pada bagian-bagian / titik-titik dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi [6].

2.8.1 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers

Batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut standart british BS 142 batas nilai setting adalah 1,05–1,3 I_{FL} . Pada rele arus lebih, besarnya nilai arus pickup ditentukan dengan pemilihan nilai tap menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Tap} = I_{set} / \text{CT primary} \quad (2.6)$$

Selain, menentukan nilai tap setting juga ditentukan setting time dial. Setting nilai time dial untuk masing-masing kurva invers rele dapat menggunakan persamaan berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.7)$$

Di mana :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- I_{set} = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)
- β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien invers *time dial* [7]

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	0,808

2.8.2 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih instan akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.8)$$

2.9 Koordinasi Berdasarkan Arus Dan Waktu

Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering dikenal sebagai setelan *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara rele utama dan rele *backup* adalah 0,3 – 0,4 detik. Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1 s (2-5 cycle)

Overtravel dari rele : 0,1 s

Faktor keamanan : 0,12-0,22 s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0.2-0.3 s. Perbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan di sisi hilir telah berhasil padam, sehingga kemungkinan trip serentak dapat dihindarkan.

2.10 Rele Gangguan Ke Tanah

Rele gangguan tanah merupakan rele pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan zero sequence current filter. Rele gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah. Rele gangguan tanah digunakan pada sistem yang membatasi arus gangguan tanah. Misalnya sistem pentanahan netral dengan pentanahan resistansi dimana impedansi yang rendah mampu mengurangi arus gangguan ke tanah.

Setting rele gangguan ke tanah adalah :

$$5 - 10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \quad (2.9)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN

PT. PERTAMINA RU III PLAJU

PT. Pertamina (persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang pengolahan minyak dan gas bumi. Dalam menjalankan bisnisnya PT. Pertamina mengoperasikan 7 unit pengolahan (*Refinery Unit*). Salah satu unitnya yaitu PT. Pertamina *Refinery Unit* (RU) III Plaju yang terletak di kecamatan Plaju kota Palembang, Sumatera Selatan.

3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju

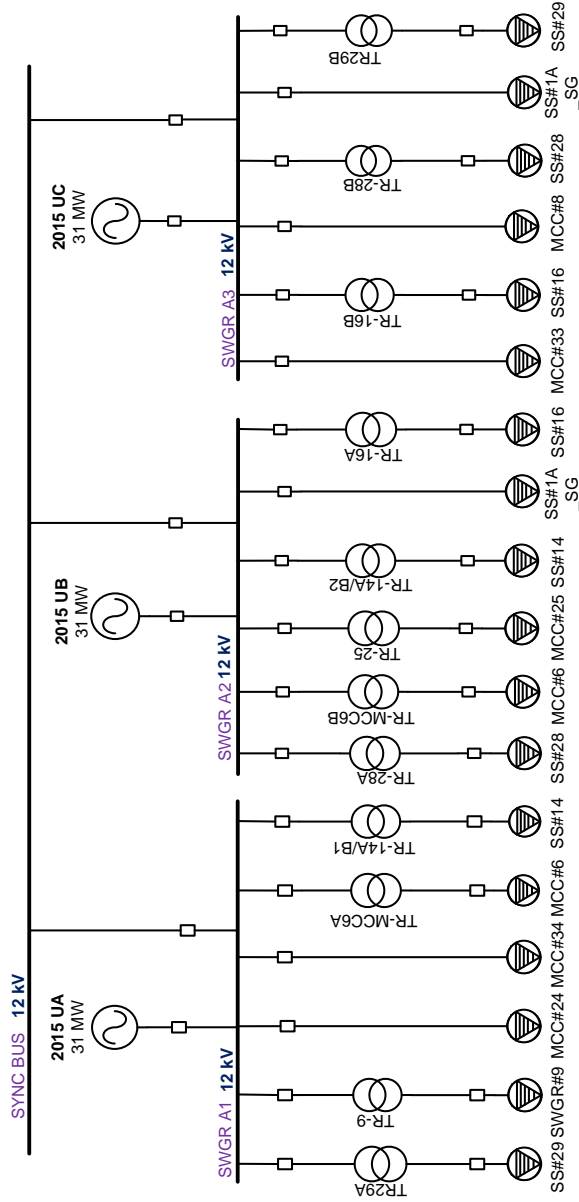
PT. Pertamina RU III Plaju melayani kebutuhan suplai daya ke beban-bebannya dengan mengoperasikan 3 unit STG (*Steam Turbin Generator*) dengan kapasitas masing-masing 31 MW. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem *double feeder radial* dengan tegangan distribusi 12 kV dan 6.9 kV untuk tegangan menengah, dan tegangan 0.22–0.5 kV untuk tegangan rendahnya. *Single line diagram* sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju yang telah disederhanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1. Sedangkan *single line diagram* yang lengkap dapat dilihat di lampiran.

3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan Demand

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan dan *demand* dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan dan *Demand*

	MW	Mvar	MVA	%PF
<i>Source</i>	24,705	13,225	28,022	88,16
<i>Total motor load</i>	16,819	7,982	18,617	90,34
<i>Total static load</i>	7,759	4,495	8,967	86,53
<i>Total Demand</i>	24,705	13,225	28,022	88,16
<i>Apparent Losses</i>	0,127	0,748	-	-



Gambar 3.1 Single line diagram PT. Pertamina RU III Plaju yang telah disederhanakan

3.3 Kapasitas Pembangkitan

Sistem pembangkitan utama yang terdapat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju adalah tiga unit STG (*Steam Turbin Generator*), yaitu 2015 UA, 2015 UB, dan 2015 UC. Masing-masing pembangkit tersebut memiliki kapasitas 31 MW. Saat kondisi normal, dari tiga pembangkit yang ada tersebut hanya dua unit yang beroperasi yaitu 2015 UA dan 2015UC, sedangkan 2015UB *standby*. Selain itu, terdapat pula pola operasi dimana ketiga pembangkit tersebut beroperasi sinkron, yaitu ketika ada kenaikan beban atau ketika akan transfer beban dari salah satu generator apabila akan dilakukan *maintenance*. Data kapasitas pembangkitan tertera pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Data Kapasitas Pembangkit di PT. Pertamina RU III Plaju

No	ID	MW	MVA	kV	%PF	%Eff	rpm
1	2015UA	31	36,471	12	85	80	3000
2	2015UB	31	36,471	12	85	80	3000
3	2015UC	31	36,471	12	85	80	3000

3.4 Sistem Distribusi di PT. Pertamina RU III Plaju

Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan oleh PT. Pertamina RU III Plaju adalah sistem *double feeder radial*. Sistem ini terdiri dari sepasang sumber yang masuk atau sepasang *feeder* dari *substation* lain yang memiliki *rating* yang sama serta terhubung dengan dua buah *substation* yang memiliki *rating* yang sama juga. Dua *substation* tersebut dihubungkan oleh sebuah *normally open tie circuit breaker*.

Tipe radial dengan *double feeder* merupakan modifikasi yang lebih menguntungkan dari pada radial biasa, terutama dalam hal kontinuitas tenaga listrik yang disalurkan. Antara sistem penyulang radial yang satu dengan yang lainnya dipasang *tie* atau *switch* pemisah (*Load Break Switch*), yang fungsinya sebagai penghubung ketika gangguan terjadi. Keuntungan dari sistem distribusi *double feeder radial* adalah dapat meningkatkan keandalan sistem yaitu apabila salah satu *feeder* mengalami gangguan maka suplai daya akan dipindahkan ke *feeder* lain yang tidak terganggu melalui *circuit breaker* penghubung yang segera menutup.

Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju tegangan output generator langsung disalurkan ke masing-masing *bus* beban

kemudian dari tiap-tiap *bus* ini tegangan akan diturunkan. Tegangan output generator adalah 12 kV dan diturunkan menjadi 6.9 KV maupun 0.4 kV. Oleh karena itu pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju ini tidak terdapat trafo *step up* untuk menaikkan tegangan *output* dari generator.

PT. Pertamina RU III Plaju mempunyai banyak transformator untuk menyuplai beban-beban yang digunakan. Tabel 3.3 menunjukkan data beberapa *bus* dan Tabel 3.4 menunjukkan data beberapa transformator daya yang ada di PT. Pertamina RU III Plaju.

Tabel 3.3 Data *bus*

No	Bus	Tegangan
1	SYNC BUS	12 kV
2	SWGR A1	12 kv
3	SWGR A3	12 kV
4	SWGR-9	12 kV
5	01-A-1-R-1	12 kV
6	Bus 31	12 kV
7	Bus 1	12 kV
8	SS#28B	6,9 kV
9	SS#14_L	6,9 kV
10	SS#14A_L	6,9 kV
11	SS#15A	6,9 kV
12	SS#03A	6,9 kV
13	MCC-C	6,9 kV
14	05-B-2-2	6,9 kV
15	SS#29B	6,9 kV
16	05-D-2-1-2	0,38 kV

Tabel 3.4 Data Transformator

No	ID	MVA	Tegangan (kV)		%Z	X/R
			Primer	Sekunder		
1	TR-14A/B1	20	12	6,9	10,25	18,6
2	SG-TR01A	9,4	12	6,9	7,16	12,85
3	TR-9	5	12	6,9	5,5	12,14
4	TR29B	7	12	6,9	6,5	13,55
5	TR-28B	3	12	6,9	7,5	10,67
6	TR33	0,1	6,9	0,4	4	2,47
7	SG-TR05B	0,8	6,6	0,38	5,18	5,79

3.5 Beban

Beban-beban tenaga listrik di PT. Pertamina RU III Plaju terdiri dari beban motor dan beban statis. Beban motor contohnya antara lain : *Boiler Feed water Pump* (BFWP) dan *Cooling Water Pump* (CWP). Sedangkan contoh dari beban statis yaitu lampu-lampu penerangan.

Ada banyak motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi di PT. Pertamina RU III Plaju. Umumnya motor yang digunakan adalah motor induksi. Motor-motor dengan kapasitas besar menggunakan tegangan 6,6 kV atau 6,9 kV. Sedangkan motor-motor berkapasitas kecil menggunakan tegangan 0,4 kV. Pada Tabel 3.5 ditunjukkan data dari beberapa motor yang ada di PT. Pertamina RU III Plaju.

Tabel 3.5 Data motor

No	ID	rating	kVA	kV	FLA	rpm
1	ZM-2501-1	1400 kW	1609	6,6	140,8	1500
2	2027JC	630 kW	730	6,6	63,87	1500
3	2025-JBM	360 HP	314	6,6	27,45	1500
4	2210JC	1250 kW	1499	6,6	126,7	1500
5	PM-62-101B	500 HP	434	6,6	38	1500
6	RPM 1-2	500 HP	581	6,9	48,6	1500
7	KM2203	170 kW	197	0,4	284,4	1500
8	Mtr63	320 kW	373	0,4	538,9	1500

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PT. PERTAMINA RU III PLAJU

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju

Pemodelan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju dilakukan dengan menggambarkan *single line diagram* pada *software* ETAP 7.5. Untuk membuat *single line diagram* di *software* ETAP 7.5 dibutuhkan data-data peralatan yang meliputi data generator, transformator, motor, kabel, bus.

Setelah pemodelan selesai, dilanjutkan dengan melakukan analisis aliran daya untuk mengetahui kondisi sistem pada saat *steady state*. Dengan analisis aliran daya ini dapat diketahui aliran daya, tegangan bus, faktor daya, pembebanan transformator dan rugi-rugi daya listrik.

4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. Pertamina RU III Plaju

Untuk mempermudah dalam melakukan setting koordinasi proteksi di PT. Pertamina RU III Plaju, maka dibuat beberapa tipikal yang dapat mewakili sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju. Tipikal ini akan menjadi acuan dalam *setting* koordinasi proteksi yang lain.

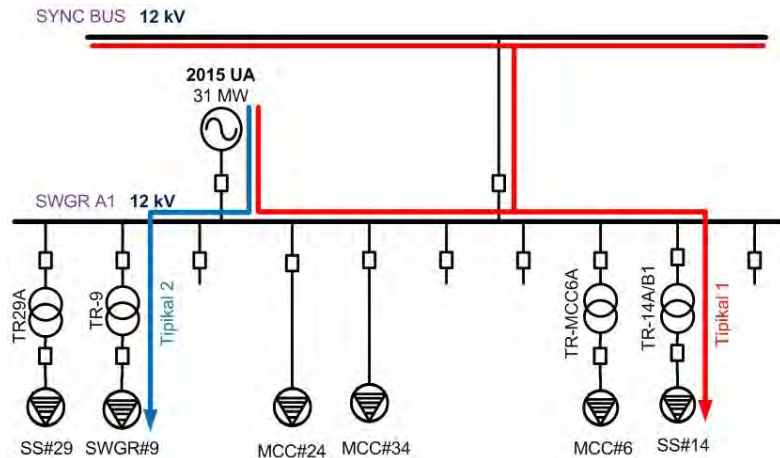
Pada koordinasi pengaman arus lebih PT. Pertamina RU III Plaju dipilih 5 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal-tipikal tersebut dipilih atas dasar saluran terpanjang, saluran terpendek yang terkoordinasi dengan saluran terpanjang, serta beban terbesar. 5 tipikal tersebut antara lain :

1. Koordinasi pengaman dari generator 2015UA sampai transformator TR33. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang dari generator menuju Bagus Kuning. Pada tipikal ini juga dicantumkan koordinasi dengan *sync bus*.
2. Koordinasi pengaman dari generator 2015UA sampai TR 3. Pemilihan tipikal ini atas dasar jalur terpanjang pada SWGR-9.
3. Koordinasi pengaman dari generator 2015UC sampai bus 05-D-2-1-2. Pemilihan tipikal ini atas dasar saluran terpanjang dari generator menuju Sungai Gerong. Pada tipikal ini juga dicantumkan koordinasi dengan *sync bus*.

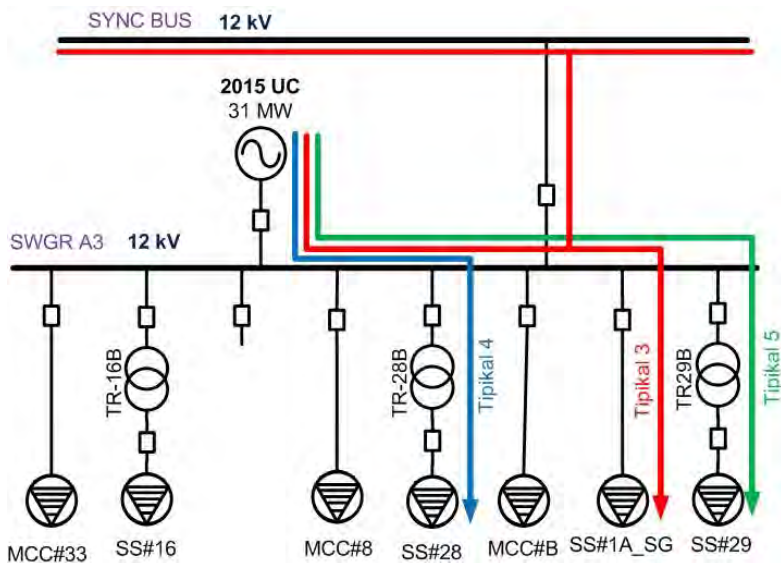
4. Koordinasi pengaman dari generator 2015UC sampai motor CM18. Tipikal ini merupakan jalur dari generator 2015UC ke motor terdekat. Tipikal ini untuk melihat koordinasi saluran terpanjang (tipikal 3) dengan saluran yang lain.
5. Koordinasi pengaman dari generator 2015UC sampai motor ZM-2501-1. Pemilihan tipikal ini atas dasar koordinasi dari generator ke motor terbesar.

Sedangkan untuk koordinasi pengaman gangguan ke tanah dipilih 3 tipikal yaitu pada tipikal 3, tipikal 4 dan tipikal 5.

Tipikal koordinasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.1, dan tipikal koordinasi 3, 4 dan 5 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Tipikal koordinasi 1 dan 2



Gambar 4.2 Tipikal koordinasi 3, 4 dan 5

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Analisis gangguan hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besar arus gangguan hubung singkat di setiap bus pada tipikal yang telah dipilih. Ada 2 parameter arus gangguan hubung singkat yang digunakan, yaitu arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa. Sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat antar fasa. Nilai arus gangguan tersebut digunakan dalam perhitungan setting rele pengamanan arus lebih.

4.3.1 Analisis Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle atau steady state. Arus hubung singkat minimum terjadi ketika pembangkitan minimum. Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju, pembangkitan minimum yaitu ketika hanya ada 2 generator yang diaktifkan, yaitu generator 2015UA dan 2015UC. Arus hubung singkat minimum digunakan sebagai patokan dalam menentukan

pickup kurva waktu instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan instan sesuai time delay yang telah ditentukan sehingga arus gangguan dapat dinetralisir dengan cepat. Dari hasil simulasi gangguan hubung singkat 2 fasa 30 cycle didapatkan nilai berikut ini :

Tabel 4.1 Data arus hubung singkat minimum

ID Bus	Arus hubung singkat 2 fasa 30 cycle
SYNC BUS	17.37 kA
SWGR A1	17.37 kA
Bus 31	14.26 kA
SS#14_L	7.12 kA
SS#14A_L	7.12 kA
SS#15A	7.12 kA
SS#03A	4.47 kA
MCC-C	5.41 kA
SWGR-9	5.41 kA
SWGR A3	17.37 kA
01-A-1-R-1	14.44 kA
05-B-2-2	6.54 kA
05-D-2-1-2	17 kA
SS#28B	2.63 kA
SS#29B	6.11 kA

4.3.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa pada saat 30 cycle atau steady state. Arus hubung singkat maksimum terjadi ketika pembangkitan maksimum. Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU III Plaju, pembangkitan maksimum yaitu ketika ada 3 generator yang diaktifkan, yaitu generator 2015UA, 2015UB dan 2015UC. Arus hubung singkat maksimum dapat dilihat pada saat 0,5 cycle, 4 cycle dan 30 cycle. Arus hubung singkat

maksimum 0,5 cycle digunakan untuk setting rele deferensial, karena rele deferensial bekerja pada 1-3 cycle. Arus hubung singkat maksimum 4 cycle digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay antara 0,08 sekon sampai 0,5 sekon. Sedangkan arus hubung singkat maksimum 30 cycle digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay 0,6 sekon atau lebih. Pada tugas akhir ini, yang digunakan adalah arus hubung singkat maksimum 4 cycle dan 30 cycle. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa 4 cycle dan 30 cycle ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data arus hubung singkat maksimum

ID Bus	Tegangan	Arus hubung singkat 3 fasa 4 cycle	Arus hubung singkat 3 fasa 30 cycle
SYNC BUS	12 kV	46,95 kA	22,89 kA
SWGR A1	12 kV	46,95 kA	22,89 kA
Bus 31	12 kV	23,74 kA	13,13 kA
SS#14_L	6,9 kV	9,87 kA	8,47 kA
SS#14A_L	6,9 kV	9,87 kA	8,47 kA
SS#15A	6,9 kV	9,87 kA	8,47 kA
SS#03A	6,9 kV	5,71 kA	5,25 kA
MCC-C	6,9 kV	7,03 kA	6,39 kA
SWGR-9	6,9 kV	7,03 kA	6,39 kA
SWGR A3	12 kV	46,95 kA	22,89 kA
01-A-1-R-1	12 kV	31,33 kA	18,56 kA
05-B-2-2	6,9 kV	8,71 kA	7,75 kA
05-D-2-1-2	0,38 kV	20,53 kA	19,7 kA
SS#28B	6,9 kV	3,32 kA	3,07 kA
SS#29B	6,9 kV	8,69 kA	7,24 kA

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

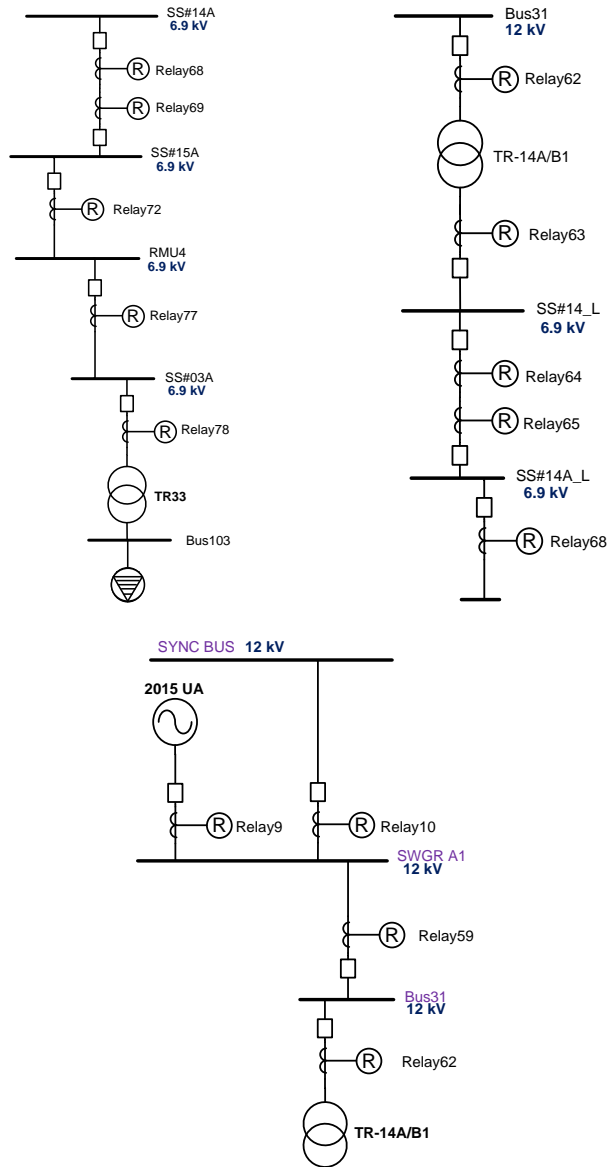
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan *setting* arus dan waktu pada masing-masing rele agar rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Dari hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain.

Pada saat melakukan *setting* rele, parameter yang harus kita hitung antara lain : *pick up lowset*, *time dial*, *pick up highset* dan *time delay*. Sesuai standard IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 sekon. Pada tugas akhir ini dipilih *grading time* 0,2 s. Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan plot *time-current curve* pada software ETAP 7.5.

4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele tipikal 1 merupakan jalur terpanjang dari generator 2015UA sampai ke Bagus Kuning. Pada tipikal ini juga memperhatikan koordinasi dengan *sync bus*. Jalur ini melalui 12 relay, antara lain ; Relay78, Relay77, Relay72, Relay69, Relay68, Relay65, Relay64, Relay63, Relay62, Relay59, Relay10 dan Relay9. Karena jumlah relenya terlalu banyak, maka saat *plotting time-current curve* dibagi menjadi 3 bagian. Tipikal 1a dimulai dari relay78 sampai Relay68, Tipikal 1b mulai dari Relay68 sampai Relay62, serta Tipikal 1c dimulai dari Relay62 sampai Relay9.

Gambar rangkaian Tipikal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3. Gambar rangkaian kiri atas adalah tipikal 1a, gambar rangkaian kanan atas adalah tipikal 1b, sedangkan gambar rangkaian yang bawah adalah tipikal 1c.



Gambar 4.3 Rangkaian tipikal 1a, tipikal 1b dan tipikal 1c

Berikut ini perhitungan parameter-parameter dari masing-masing rele di tipikal 1.

Relay 78

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SJ64
FLA primer TR33	: 8,367 A
Iscmax 4 cycle bus SS#03A	: 5,71 kA
<i>Curve Type</i>	: ANSI - <i>Extremely Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA TR33} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA TR33} \\
 1,05 \times 8,37 &< \text{Iset} < 1,4 \times 8,37 \\
 8,79 &< \text{Iset} < 11,72 \\
 \frac{8,79}{50/5} &< \text{Tap} < \frac{11,72}{50/5} \\
 0,879 &< \text{Tap} < 1,172
 \end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 0.88

Iset = 8.8 A

Time dial

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{5710}{8,8} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 8,212407028$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 8,22 s

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max bus}} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ Primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min. SS\#03A}}$$

$$3520 \times \frac{0,4}{6,9} < I_{\gg} < 0,8 \times 4470$$

$$204,058 < I_{\gg} < 3576$$

$$\frac{204,058}{50/5} < \text{Tap} < \frac{3576}{50/5}$$

$$20,4058 < \text{Tap} < 357,6$$

(range : 0,5 sampai 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 50

Iset = 500 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

Relay 77

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 92,027 A

Iscmax 4 cycle bus SS#03A : 5,71 kA

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{set} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 92,027 < I_{set} < 1,4 \times 92,027$$

$$96,628 < I_{set} < 128,838$$

$$\frac{96,628}{100/5} < \text{Tap} < \frac{128,838}{100/5}$$

$$4,8314 < \text{Tap} < 6,4419$$

(range : 0,5 sampai 20 A or ∞ 1, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,84

Iset = 96.8 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{5710}{96,8} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 15,40750672$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 15,41 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SS\#03A}$$

$$1,6 \times 92,027 < I_{\gg} < 0,8 \times 4470$$

$$13,392 < I_{\gg} < 3576$$

$$\frac{13,392}{100/5} < \text{Tap} < \frac{3576}{100/5}$$

$$0,6696 < \text{Tap} < 178,8$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 98

Iset = 1960 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

Relay 72

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 133,854 A

Iscmax 4 cycle bus SS#15A : 9,87 kA

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
 CT Ratio : 150 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 133,854 < \text{Iset} < 1,4 \times 133,854$$

$$140,55 < \text{Iset} < 187,4$$

$$\frac{140,55}{150/5} < \text{Tap} < \frac{187,4}{150/5}$$

$$4,685 < \text{Tap} < 6,246667$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,7

Iset = 141 A

Time dial

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,6 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{9870}{141} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 23,5375$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 15 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. SS\#15A}$$

$$1,6 \times 133,854 < I_{\gg} < 0,8 \times 7120$$

$$214,1664 < I_{\gg} < 5696$$

$$\frac{214,1664}{150/5} < \text{Tap} < \frac{5696}{150/5}$$

$$7,13888 < \text{Tap} < 189,8667$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 90

Iset = 2700 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,5 s

Relay 69

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 326,261 A

Iscmax 30 cycle bus SS#15A : 8,47 kA

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 326,261 < Iset < 1,4 \times 326,261$$

$$342,574 < Iset < 456,7654$$

$$\frac{342,547}{400/5} < Tap < \frac{456,7654}{400/5}$$

$$4,282175 < Tap < 5,7095675$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,3

Iset = 344 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8470}{326,261} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 24,44925114$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 15 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SS\#15A}$$

$$1,6 \times 326,261 < I_{\gg} < 0,8 \times 7120$$

$$214,1664 < I_{\gg} < 5696$$

$$\frac{214,1664}{400/5} < \text{Tap} < \frac{5696}{400/5}$$

$$2,67708 < \text{Tap} < 71,2$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 50

Iset = 4000 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

Relay 68

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 326,261 A

Iscmax 30 cycle bus SS#15A : 8,47 kA

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 326,261 < I_{set} < 1,4 \times 326,261$$

$$342,574 < I_{set} < 456,7654$$

$$\frac{342,547}{400/5} < \text{Tap} < \frac{456,7654}{400/5}$$

$$4,282175 < \text{Tap} < 5,7095675$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,3

Iset = 344 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8470}{326,261} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 24,44925114$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 15 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min. SS\#14A_L}}$$

$$1,6 \times 326,261 < I_{set} < 0,8 \times 7120$$

$$214,1664 < I_{set} < 05696$$

$$\frac{214,1664}{400/5} < \text{Tap} < \frac{5696}{400/5}$$

$$2,67708 < \text{Tap} < 71,2$$

(range : 0.5 to 175 A, dengan step 0.01 A)

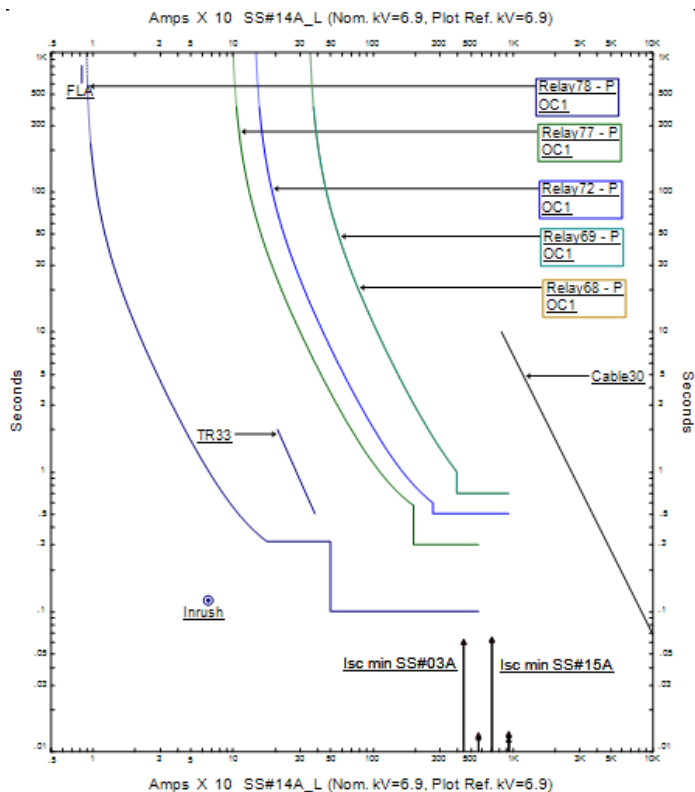
Dipilih tap = 50

Iset = 4000 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,7 s

Dari perhitungan rele pada tipikal 1a didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.4 Time-current curve tipikal 1a

Relay 65

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 1673 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1673 < \text{Iset} < 1,4 \times 1673$$

$$1756,65 < I_{set} < 2342,2$$

$$\frac{1756,65}{2500/5} < Tap < \frac{2342,2}{2500/5}$$

$$3,5133 < Tap < 4,6844$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,52

Iset = 1760 A

Time dial

Waktu operasi = 1 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$1 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8470}{1760} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 3,586146619$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 3,59 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{>>} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. } SS\#14A_L$$

$$1,6 \times 1673 < I_{>>} < 0,8 \times 7120$$

$$2676,8 < I_{>>} < 5696$$

$$\frac{2676,8}{2500/5} < Tap < \frac{5696}{2500/5}$$

$$5,3536 < Tap < 11,392$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 11

Iset = 5500 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,9 s

Relay 64

Manufacturer : SIEMENS
 Model : 7SJ64
 FLA : 1673 A
 Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
 CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1673 < \text{Iset} < 1,4 \times 1673$$

$$1756,65 < \text{Iset} < 2342,2$$

$$\frac{1756,65}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2342,2}{2500/5}$$

$$3,5133 < \text{Tap} < 4,6844$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,52

Iset = 1760 A

Time dial

Waktu operasi = 1 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$1 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8470}{1760} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 3,586146619$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 3,59 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. SS\#14L}$$

$$1,6 \times 1673 < I_{\gg} < 0,8 \times 7120$$

$$2676,8 < I_{sc} < 5696$$

$$\frac{2676,8}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{5696}{2500/5}$$

$$5,3536 < \text{Tap} < 11,392$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 11

Iset = 5500 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,9 s

Relay 63

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 1673 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1673 < \text{Iset} < 1,4 \times 1673$$

$$1756,65 < \text{Iset} < 2342,2$$

$$\frac{1756,65}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2342,2}{2500/5}$$

$$3,5133 < \text{Tap} < 4,6844$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,52

Iset = 1760 A

Time dial

Waktu operasi = 1,2 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$1,2 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8470}{1760} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 4,303375943$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 4,31 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. } SS\#14L$$

$$1,6 \times 1673 < I_{\gg} < 0,8 \times 7120$$

$$2676,8 < I_{\gg} < 5696$$

$$\frac{2676,8}{2000/5} < \text{Tap} < \frac{5696}{2000/5}$$

$$6,692 < \text{Tap} < 14,24$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{set}}{n} = \frac{5}{2000/5} = 14,24$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 14

Iset = 5600 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 1,1 s

Pada relay68 ini *time delay* nya cukup lama, yaitu 1,1 sekon. Dikhawatirkan ketahanan peralatan tidak mampu untuk menahan arus hubung singkat dengan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu disarankan untuk memasang *Zone Selective Interlocking* (ZSI). Dengan memasang ZSI, ketika terjadi gangguan maka rele yang berada di atas titik gangguan akan memutus dengan *time delay* 0,1 sekon, sedangkan rele yang berada di atasnya lagi akan bekerja sesuai dengan *time delay* yang telah ditentukan. Sehingga gangguan dapat segera dilokalisir.

Relay 62

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 962,3 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 1250 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA TR-14A/B1} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 962,3 < \text{Iset} < 1,4 \times 962,3$$

$$1010,415 < \text{Iset} < 1347,22$$

$$\frac{1010,415}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{1347,22}{1250/5}$$

$$4,04166 < \text{Tap} < 5,38888$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,05

Iset = 1012,5 A

Time dial

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{23740}{1012,5} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 5,77738147$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 5,78 s

Instantaneous Pickup

$$\text{Isc max bus SS\#14_L} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. Bus31}$$

$$9870 \times \frac{6,9}{12} < I_{\gg} < 0,8 \times 14260$$

$$5675,25 < I_{\gg} < 11408$$

$$\frac{5675,25}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{11408}{1250/5}$$

$$22,701 < \text{Tap} < 45,632$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

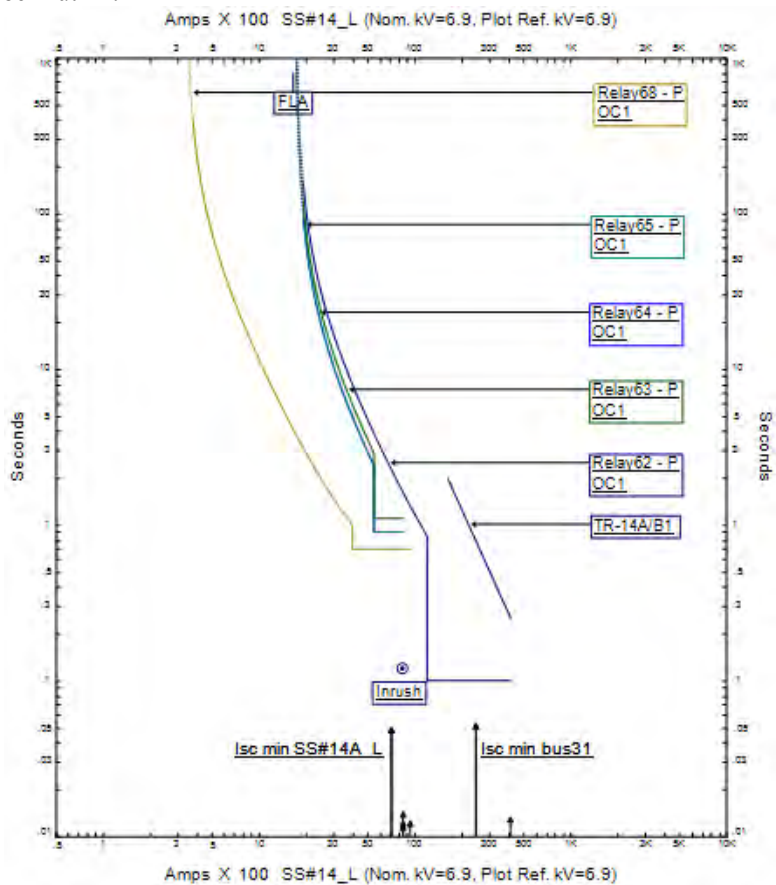
Dipilih tap = 27,76

Iset = 6940 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

Dari perhitungan rele pada tipikal 1b didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.5 Time-current curve tipikal 1b

Relay 59

Manufacturer : SIEMENS
 Model : 7SJ64
 FLA : 962,3 A
 Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
 CT Ratio : 1250 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 962,3 &< \text{Iset} < 1,4 \times 962,3 \\
 1010,415 &< \text{Iset} < 1347,22 \\
 \frac{1010,415}{1250/5} &< \text{Tap} < \frac{1347,22}{1250/5} \\
 4,04166 &< \text{Tap} < 5,38888
 \end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,05

Iset = 1012,5 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{46950}{1012,5} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 14,83447404$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 14,84 s

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times \text{FLA} &< I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. Bus31} \\
 1,6 \times 962,3 &< I_{\gg} < 0,8 \times 17370
 \end{aligned}$$

$$2676,8 < I_{sc} < 13896$$

$$\frac{2676,8}{1250/5} < \text{Tap} < \frac{13896}{1250/5}$$

$$10,7072 < \text{Tap} < 55,584$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 27,76

Iset = 6940 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

Relay 10

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA 2015 UA : 1755 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1755 < \text{Iset} < 1,4 \times 1755$$

$$1842,75 < \text{Iset} < 2457$$

$$\frac{1842,75}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2457}{2500/5}$$

$$3,6855 < \text{Tap} < 4,914$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,69

Iset = 1845 A

Time dial

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$0,6 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{22890}{1845} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 9,800445632$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 9,81 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \text{ TR33} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi Min. 2015 UA}$$

$$1,6 \times 1755 < I_{\gg} < 0,8 \times 8680$$

$$2808 < I_{\gg} < 6944$$

$$\frac{2808}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{6944}{2500/5}$$

$$5,616 < \text{Tap} < 13,888$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 13,88

Iset = 6940 A

Time delay = 0,5 s

Relay 9

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA 2015 UA : 1755 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1755 < I_{set} < 1,4 \times 1755$$

$$1842,75 < I_{set} < 2457$$

$$\frac{1842,75}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2457}{2500/5}$$

$$3,6855 < \text{Tap} < 4,914$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,69

Iset = 1845 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{22890}{1845} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 13,06726084$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 13,07 s

Instantaneous Pickup

$1,6 \times FLA \text{ TR33} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi Min. 2015 UA}$

$$1,6 \times 1755 < I_{\gg} < 0,8 \times 8680$$

$$2808 < I_{\gg} < 6944$$

$$\frac{2808}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{6944}{2500/5}$$

$$5,616 < \text{Tap} < 13,888$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

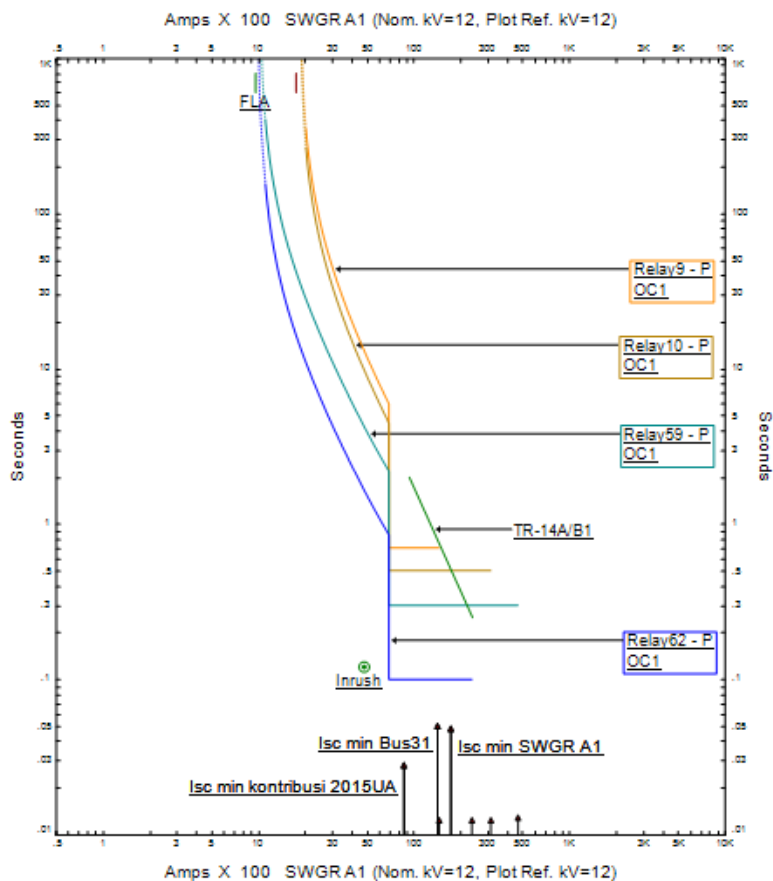
Dipilih tap = 13,88

Iset = 6940 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,7 s

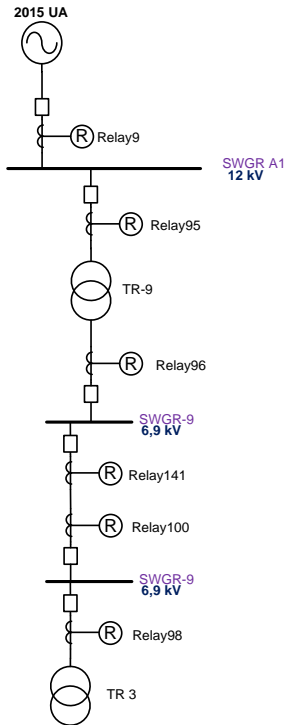
Dari perhitungan rele pada tipikal 1c didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.6 Time current curve tipikal Ic

4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele tipikal 2 meliputi Rele98, Relay100, Relay141, Relay96, Relay95 serta Relay9. Gambar dari rangkaian tipikal 2 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian tipikal 2

Relay 98

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
FLA TR 3 : 167,3 A
Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*
CT Ratio : 200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA TR 3} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA TR 3} \\
 1,05 \times 167,3 &< \text{Iset} < 1,4 \times 167,3 \\
 175,665 &< \text{Iset} < 234,22 \\
 \frac{175,665}{200/5} &< \text{Tap} < \frac{234,22}{200/5}
 \end{aligned}$$

$4,391625 < \text{Tap} < 5,8555$
 (range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)
 Dipilih tap = 4,4
 Iset = 176 A

Time dial

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{7030}{176} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 7,1743$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)
 time dial = 7,18 s

Instantaneous Pickup

$$\text{Isc max bus MCC 4} \times \frac{\text{kV sekunder}}{\text{kV primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. MCC-C}$$

$$35520 \times \frac{0,4}{6,9} < I_{\gg} < 0,8 \times 5410$$

$$2059,1304 < I_{\gg} < 4328$$

$$\frac{2059,1304}{200/5} < \text{Tap} < \frac{4328}{200/5}$$

$$51,47826 < \text{Tap} < 108,2$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)
 Dipilih tap = 75
 Iset = 3000 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

Relay100

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
FLA : 391,05 A
Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
CT Ratio : 500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &< I_{set} < 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 391,05 &< I_{set} < 1,4 \times 391,05 \\
 410,6025 &< I_{set} < 547,47 \\
 \frac{410,6025}{500/5} &< Tap < \frac{547,47}{500/5} \\
 4,106025 &< Tap < 5,4747
 \end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,11

$I_{set} = 411 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{7030}{411} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 9,156738$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 9,16 s

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA &< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min MCC-C} \\
 1,6 \times 391,05 &< I_{\gg} < 0,8 \times 5410
 \end{aligned}$$

$$625,68 < I_{\gg} < 4328$$

$$\frac{625,68}{500/5} < \text{Tap} < \frac{4328}{500/5}$$

$$6,2568 < \text{Tap} < 43,28$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 35

Iset = 3500 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

Relay141

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 391,05 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 391,05 < \text{Iset} < 1,4 \times 391,05$$

$$410,6025 < \text{Iset} < 547,47$$

$$\frac{410,6025}{500/5} < \text{Tap} < \frac{547,47}{500/5}$$

$$4,106025 < \text{Tap} < 5,4747$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,11

Iset = 411 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{7030}{411} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 9,156738$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 9,16 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min SWGR-9}$$

$$1,6 \times 391,05 < I_{\gg} < 0,8 \times 5410$$

$$625,68 < I_{\gg} < 4328$$

$$\frac{625,68}{500/5} < \text{Tap} < \frac{4328}{500/5}$$

$$6,2568 < \text{Tap} < 43,28$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 35

Iset = 3500 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,3 s

Relay 96

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA TR24 : 418,4 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 500 / 5

Isc min : 5,41 kA

Isc max : 7,03 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 418,4 < I_{set} < 1,4 \times 418,4$$

$$439,32 < I_{set} < 585,76$$

$$\frac{439,32}{500/5} < \text{Tap} < \frac{585,76}{500/5}$$

$$4,3932 < \text{Tap} < 5,8576$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,4

Iset = 440 A

Time dial

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,6 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{7030}{440} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 12,89743914$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 12,9 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. MCC24}$$

$$1,6 \times 418,4 < I_{\gg} < 0,8 \times 5410$$

$$669,44 < I_{\gg} < 4328$$

$$\frac{669,44}{500/5} < \text{Tap} < \frac{4328}{500/5}$$

$$6,6944 < \text{Tap} < 43,28$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 40

Iset = 4000 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,5 s

Relay 95

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
FLA : 240,6 A
Curve Type : IEC - *Extremely Inverse*
CT Ratio : 400 / 5
Isc min : 17,37 kA
Isc max : 46,95 kA

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 240,6 < \text{Iset} < 1,4 \times 240,6$$

$$252,63 < \text{Iset} < 336,84$$

$$\frac{252,63}{400/5} < \text{Tap} < \frac{336,84}{400/5}$$

$$3,157875 < \text{Tap} < 4,2105$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,16

Iset = 252,8 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{46950}{252,8} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 16,32418432$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 15 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SWGR AI}$$

$$1,6 \times 312,77 < I_{\gg} < 0,8 \times 17370$$

$$500,432 < I_{\gg} < 13896$$

$$\frac{500,432}{400/5} < \text{Tap} < \frac{13896}{400/5}$$

$$6,2554 < \text{Tap} < 173,7$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 63

Iset = 5040 A

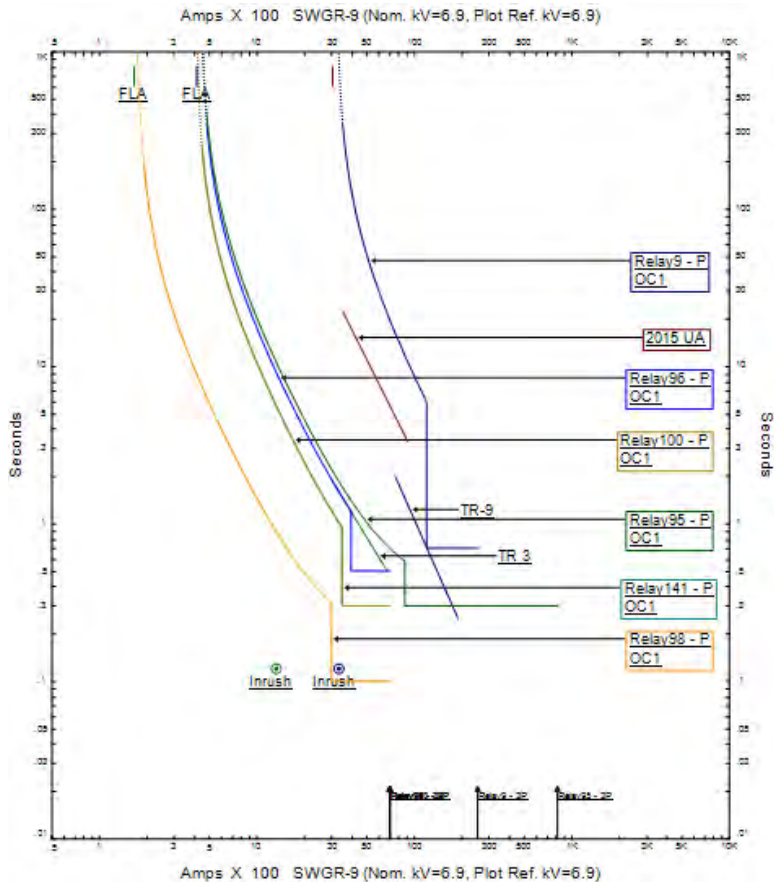
Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

Relay 9

Sama seperti di tipikal 1

Dari perhitungan rele pada tipikal 2 didapatkan *Time-Current Curve* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.

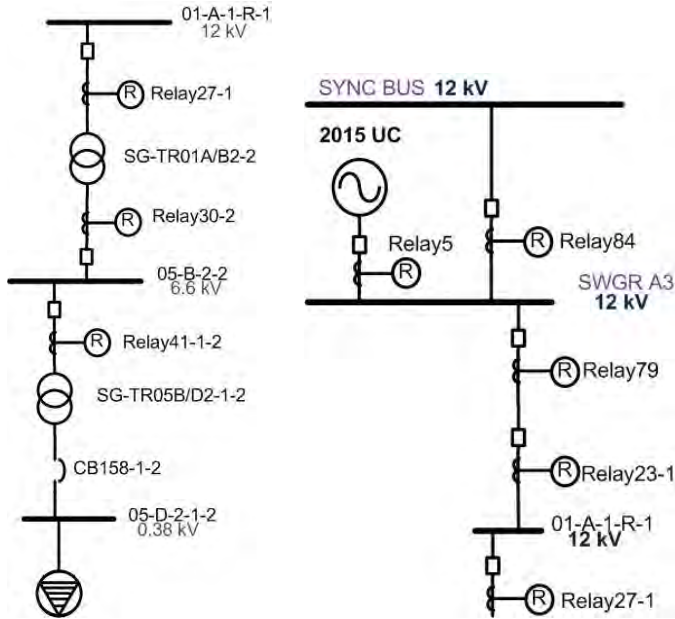


Gambar 4.8 Time-current curve tipikal 2

4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi proteksi tipikal 3 merupakan jalur terpanjang dari generator 2015UC ke Sungai Gerong. Pada tipikal 3 ini terdapat 1 *Low Voltage Circuit Breaker* dan 7 rele yang harus dikoordinasikan, yaitu CB158-1-2, Relay41-1-2, Relay30-2, Relay27-1, Relay23-1, Relay79, Relay84 dan Relay5. Karena Rele pada tipikal ini cukup banyak, maka dalam plotting time-current curve dibagi menjadi 2 bagian. Tipikal 3a

meliputi CB158-1-2 sampai Relay27-1. Sedangkan tipikal 3b meliputi Relay27-1 sampai Relay5. Gambar rangkaian tipikal 3 dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Rangkaian tipikal 3a dan tipikal 3b

CB158-1-2

Manufacture : Siemens
Model : ETU45B
Rating Plug : 1600 Amp

Long - Time

LT Pickup :

$$1,05 \times \text{FLA sekunder SG-TR05B} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA SG-TR05B}$$

$$1,05 \times 1215 < \text{Iset} < 1,4 \times 1215$$

$$1275,75 < \text{Iset} < 1701$$

$$\frac{1275,75}{1600} < \text{Tap} < \frac{1701}{1600}$$

$0,7973 < \text{Tap} < 1,063125$
 (range : 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 0,9; 0,1)
 Dipilih tap = 0,8
 Iset = 1280 A
 Dipilih LT Band : 2

Short - Time

ST Pickup :
 $1,6 \times \text{FLA SG-TR05B} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Iscmin bus 05-D-1-2}$
 $1,6 \times 1215 < \text{Iset} < 0,8 \times 17000$
 $1944 < \text{Iset} < 13600$
 $\frac{1944}{1600} < \text{Tap} < \frac{13600}{1600}$
 $1,215 < \text{Tap} < 8,5$
 (range : 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10; 12)
 Dipilih tap = 4
 Iset = 6400 A
 Dipilih ST Band : 0,3 s

Relay41-1-2

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
 FLA : 69,98 A
Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 69,98 < \text{Iset} < 1,4 \times 69,98$
 $73,479 < \text{Iset} < 97,972$
 $\frac{73,479}{100/5} < \text{Tap} < \frac{97,972}{100/5}$
 $3,67395 < \text{Tap} < 4,8986$
 (range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)
 Dipilih tap = 4,2
 Iset = 84 A

Time dial

Waktu operasi = 0,3 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,3 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8710}{84} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 12,0653$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 12,07 s

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \max} 05-D-2-1-2 \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min. } 05-B-2-2}$$

$$20530 \times \frac{0,38}{6,6} < I_{\gg} < 0,8 \times 6540$$

$$1182,030303 < I_{\gg} < 5232$$

$$\frac{1182,030303}{100/5} < \text{Tap} < \frac{5232}{100/5}$$

$$59,10151515 < \text{Tap} < 261,6$$

(range : 0,5 sampai 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 82

Iset = 1640 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,1 s

Relay30-2

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 786,5 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT ratio : 750/5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 786,5 < I_{set} < 1,4 \times 786,5$$

$$825,825 < I_{set} < 1101,1$$

$$\frac{825,825}{750/5} < Tap < \frac{1101,1}{750/5}$$

$$5,5055 < Tap < 7,340667$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 5,51

Iset = 826,5 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8710}{826,5} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 5,292012035$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 5,3 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. } 05-B-2-2$$

$$1,6 \times 786,5 < I_{set} < 0,8 \times 6540$$

$$1258,4 < I_{set} < 5232$$

$$\frac{1258,4}{750/5} < Tap < \frac{5232}{750/5}$$

$$8,389333 < Tap < 34,88$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tab = 32

Iset = 4800 A

Time delay

Dipilih $Time\ delay = 0,3\ s$

Relay27-1

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 452,3 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 600 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 452,3 < I_{set} < 1,4 \times 452,3$$

$$474,915 < I_{set} < 633,22$$

$$\frac{474,915}{600/5} < Tap < \frac{633,22}{600/5}$$

$$3,957625 < Tap < 5,27683333$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,96

$I_{set} = 475,2\ A$

Time dial

Waktu operasi = 0,2 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,2 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{31330}{475,2} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 7,800978334$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 7,81 s

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \text{ max } 05-B-2-2} \times \frac{kV \text{ sekunder}}{kV \text{ primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min. } 01-A-1-R-1}$$

$$8710 \times \frac{6,9}{12} < I_{\gg} < 0,8 \times 14440$$

$$5008,25 < I_{\gg} < 11552$$

$$\frac{5008,25}{600/5} < \text{Tap} < \frac{11552}{600/5}$$

$$41,73541667 < \text{Tap} < 115,52$$

(range : 0,5 sampai 175 A, dengan step 0,01 A)

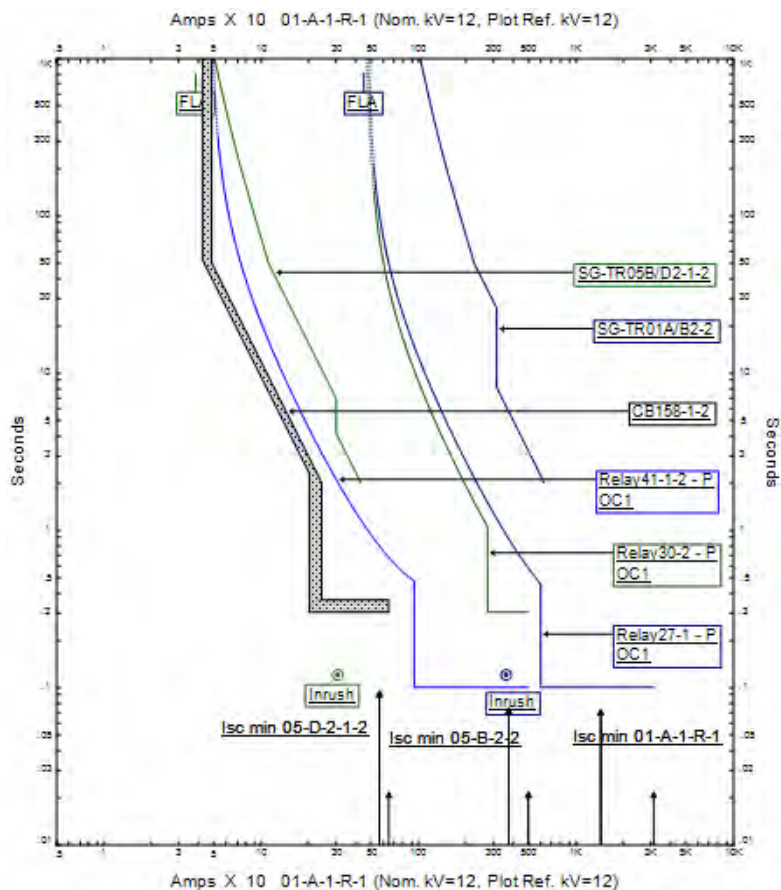
Dipilih tap = 50

Iset = 6000 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

Dari perhitungan koordinasi proteksi tipikal 3 didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.10 Time-current curve tipikal 3a

Relay23-1

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
FLA : 1193,3 A
Curve Type : ANSI - Extremely Inverse
CT Ratio : 1500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times FLA &< I_{set} < 1,4 \times FLA \\1,05 \times 1193,3 &< I_{set} < 1,4 \times 1193,3 \\1252,965 &< I_{set} < 1670,62 \\ \frac{1252,965}{1500/5} &< Tap < \frac{1670,62}{1500/5} \\4,17655 &< Tap < 5,56873333\end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,18

Iset = 1254 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{31330}{1254} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 11,97962621$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 11,98 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. } 01-A-I-R-I$$

$$1,6 \times 1193,3 < I_{set} < 0,8 \times 14440$$

$$500,432 < I_{set} < 11552$$

$$\frac{500,432}{1500/5} < Tap < \frac{11552}{1500/5}$$

$$1,668106667 < Tap < 38,5066667$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 21,6

Iset = 6480 A

Time delay

Dipilih $Time\ delay = 0,3\ s$

Relay79

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA : 1193,3 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 1500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1193,3 < I_{set} < 1,4 \times 1193,3$$

$$1252,965 < I_{set} < 1670,62$$

$$\frac{1252,965}{1500/5} < Tap < \frac{1670,62}{1500/5}$$

$$4,17655 < Tap < 5,568733333$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,18

$I_{set} = 1254\ A$

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{46950}{1254} \right)^2 - 1 \right)} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$TD = 14,10120859$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

$time\ dial = 14,11\ s$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SWGR A3}$$

$$1,6 \times 1193,3 < I_{\gg} < 0,8 \times 17370$$

$$500,432 < I_{\gg} < 13896$$

$$\frac{500,432}{1500/5} < \text{Tap} < \frac{13896}{1500/5}$$

$$1,668106667 < \text{Tap} < 46,32$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 21,6

Iset = 6480 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

Relay84

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA 2015 UC : 1755 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 1755 < I_{set} < 1,4 \times 1755$$

$$1842,75 < I_{set} < 2457$$

$$\frac{1842,75}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2457}{2500/5}$$

$$3,6855 < \text{Tap} < 4,914$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,69

Iset = 1845 A

Time dial

Waktu operasi = 0,6 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,6 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{22890}{1845} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 9,800445632$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 5,56 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA TR33} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc kontribusi Min. 2015 UC}$$

$$1,6 \times 1755 < I_{\gg} < 0,8 \times 8680$$

$$2808 < I_{\gg} < 6944$$

$$\frac{2808}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{6944}{2500/5}$$

$$5,616 < \text{Tap} < 13,888$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih *tab* = 13,88

Iset = 6940 A

Time delay

Dipilih *Time delay* = 0,5 s

Relay5

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA 2015 UC : 1755 A

Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*

CT Ratio : 2500 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1755 < \text{Iset} < 1,4 \times 1755$$

$$1842,75 < \text{Iset} < 2457$$

$$\frac{1842,75}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{2457}{2500/5}$$

$$3,6855 < \text{Tap} < 4,914$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,69

Iset = 1845 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{22890}{1845} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 13,06726084$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 13,07 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA 2015UC} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc kontribusi Min. 2015 UC}$$

$$1,6 \times 1755 < I_{\gg} < 0,8 \times 8680$$

$$2808 < I_{\gg} < 6944$$

$$\frac{2808}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{6944}{2500/5}$$

$$5,616 < \text{Tap} < 13,888$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

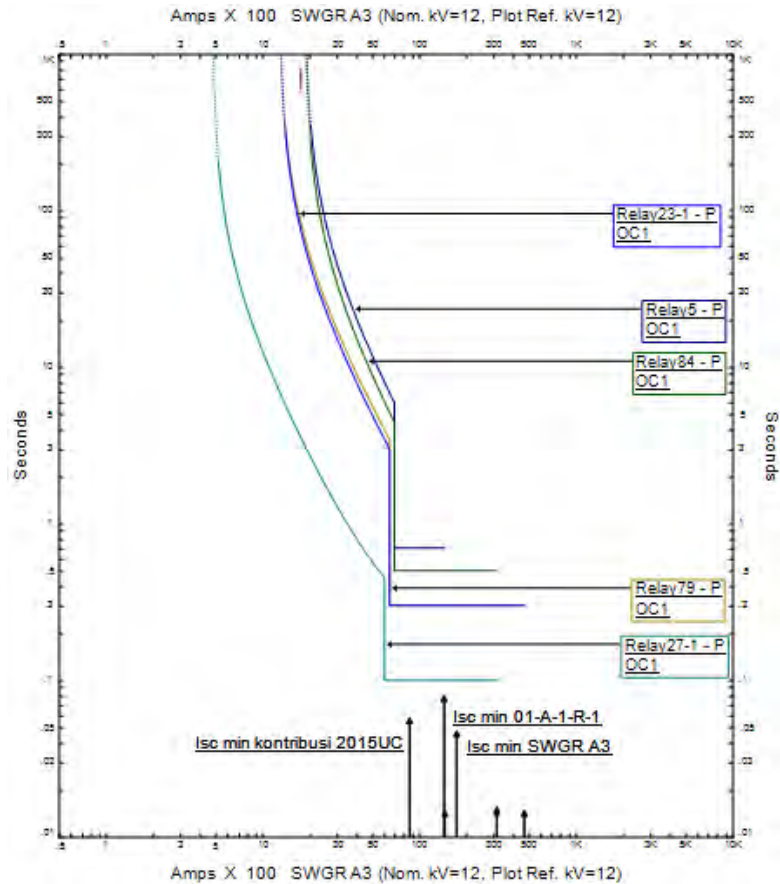
Dipilih tab = 13,88

Iset = 6940 A

Time delay

Dipilih Time delay = 0,7 s

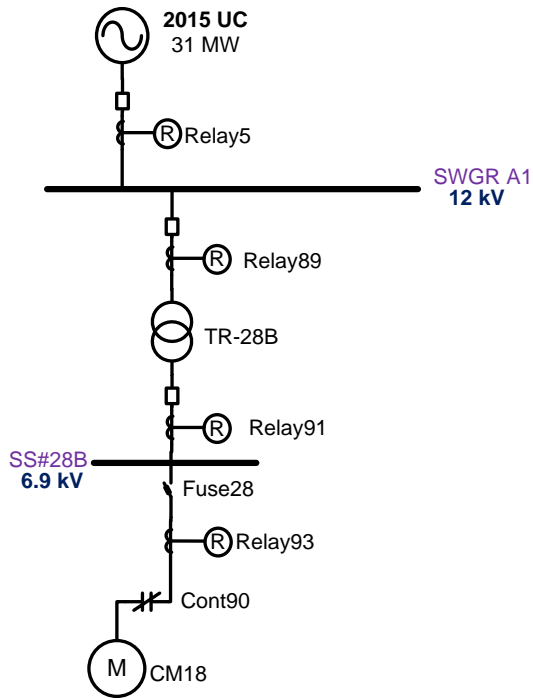
Dari perhitungan rele pada tipikal 3b didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.11 Time-current curve tipikal 3b

4.4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Koordinasi proteksi tipikal 4 meliputi Relay93, Relay91, Relay89 dan Relay5. Gambar rangkaian tipikal 4 dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Rangkaian tipikal 4

Berikut ini perhitungan parameter-parameter masing-masing rele:

Relay 93

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
 FLA CM18 : 24,33 A
Curve Type : ANSI - Long Inverse
CT Ratio : 50 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA CM18} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA CM18} \\
 1,05 \times 24,33 &< \text{Iset} < 1,4 \times 24,33 \\
 25,5465 &< \text{Iset} < 34,062
 \end{aligned}$$

$$\frac{25,5465}{50/5} < \text{Tap} < \frac{34,02}{50/5}$$

$$2,55465 < \text{Tap} < 3,402$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 2,56

Iset = 67,2 A

Time dial

Waktu operasi = 6 s

$$t = \left(\left(\frac{5,6143}{(M^1) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,6143}{\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$6 = \left(\left(\frac{5,6143}{\left(\frac{3320}{67,2} \right) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$TD = 2,606535036$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 2,61 s

Instantaneous Pickup

Tidak difungsikan.

Relay 91

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA TR-28B : 251 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 251 < I_{set} < 1,4 \times 251$$

$$263,55 < I_{set} < 351,4$$

$$\frac{263,55}{400/5} < \text{Tap} < \frac{351,4}{400/5}$$

$$3,294375 < \text{Tap} < 4,3925$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,3

Iset = 264 A

Time dial

Waktu operasi = 0,8 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,8 = \left(\left(\frac{8,9341}{\left(\left(\frac{3320}{264} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 9,8533$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 9,86 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min. SS\#28B}$$

$$1,6 \times 251 < I_{set} < 0,8 \times 2630$$

$$401,6 < I_{set} < 2104$$

$$\frac{401,6}{400/5} < \text{Tap} < \frac{2104}{400/5}$$

$$5,02 < \text{Tap} < 26,3$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 20

Iset = 1600 A

Time Delay

Dipilih Time delay = 0,7 s

Relay 89

Manufacturer : SIEMENS
 Model : 7SJ64
 FLA TR-28B : 144,3 A
 Curve Type : ANSI - *Extremely Inverse*
 CT Ratio : 200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 144,3 &< \text{Iset} < 1,4 \times 144,3 \\
 151,515 &< \text{Iset} < 202,02 \\
 \frac{151,515}{200/5} &< \text{Tap} < \frac{202,02}{200/5} \\
 3,787875 &< \text{Tap} < 5,0505
 \end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 3,79

Iset = 151,6 A

Time dial

Waktu operasi = 0,3 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,3 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{46950}{151,6} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 12,2957$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 12,3 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA TR-28B} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. SWGR A3}$$

$$1,6 \times 144,3 < I_{\gg} < 0,8 \times 17370$$

$$230,88 < I_{\gg} < 13896$$

$$\frac{230,88}{200/5} < \text{Tap} < \frac{13896}{200/5}$$

$$5,772 < \text{Tap} < 347,4$$

(range : 0,5 sampai 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 77

Iset = 3080 A

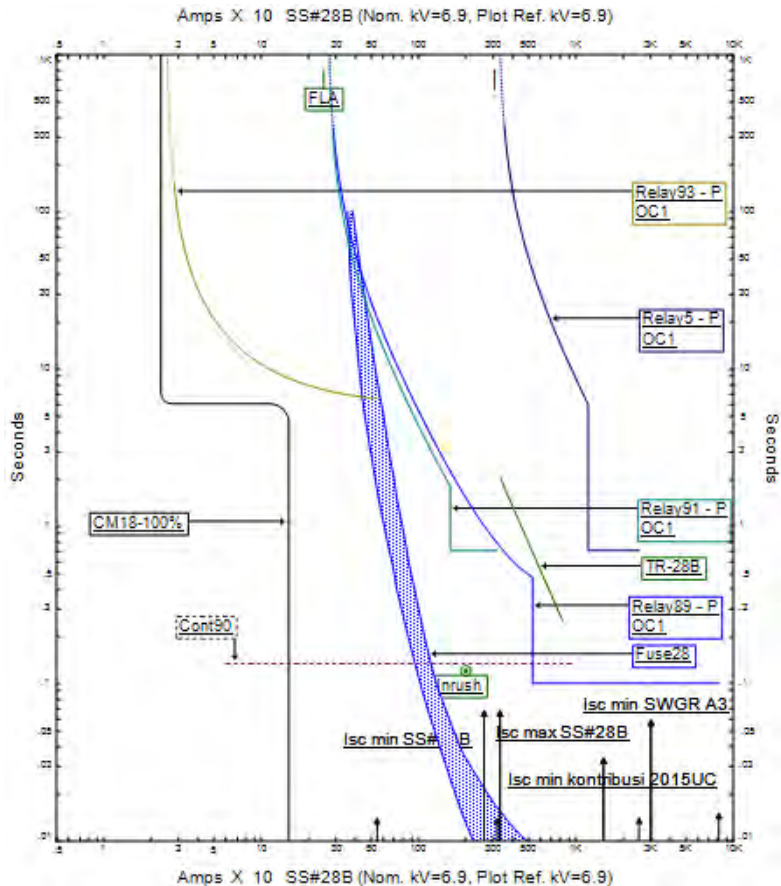
Time Delay

Dipilih *Time delay* = 0,1 s

Relay 5

Sama seperti di tipikal 3

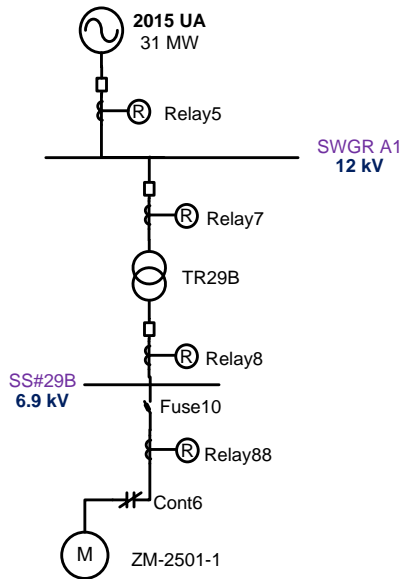
Dari perhitungan rele pada tipikal 4 didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.13 Time-current curve tipikal 4

4.4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5

Koordinasi proteksi tipikal 5 merupakan koordinasi dari generator 2015UC sampai ke motor terbesar, yaitu ZM-2501-1. Pada tipikal ini rele yang harus dikoordinasikan antara lain: Relay88, Relay8, Relay7 serta Relay5. Gambar rangkaian dari tipikal 5 ditunjukkan Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Rangkaian tipikal 5

Berikut ini perhitungan parameter-parameter pada masing-masing rele di tipikal 5 :

Relay 88

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
 FLA ZM-2501-1 : 140,8 A
Curve Type : ANSI - Long Inverse
CT Ratio : 150 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA ZM-2501-1} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA ZM-2501-1} \\
 1,05 \times 140,8 &< \text{Iset} < 1,4 \times 140,8 \\
 147,84 &< \text{Iset} < 197,12 \\
 \frac{147,84}{150/5} &< \text{Tap} < \frac{197,12}{150/5} \\
 4,928 &< \text{Tap} < 6,5707
 \end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,93

Iset = 147,9 A

Time dial

Waktu operasi = 10 s

$$t = \left(\left(\frac{5,6143}{(M^1) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,6143}{\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$10 = \left(\left(\frac{5,6143}{\left(\frac{8690}{147,9} \right) - 1} \right) + 2,18592 \right) * TD$$

$$TD = 4,379957152$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 4,38 s

Instantaneous Pickup

Tidak difungsikan.

Relay 8

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SJ64

FLA TR-29B : 585,7 A

Curve Type : ANSI - Extremely Inverse

CT Ratio : 750 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 585,7 < Iset < 1,4 \times 585,7$$

$$614,985 < Iset < 819,98$$

$$\frac{614,985}{750/5} < \text{Tap} < \frac{819,98}{750/5}$$

$$4,0999 < \text{Tap} < 5,4665333$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,1

Iset = 615 A

Time dial

Waktu operasi = 0,4 s

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD$$

$$t = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$0,4 = \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{8690}{615} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right)$$

$$TD = 7,585767181$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 7,59 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. SS\#29B}$$

$$1,6 \times 585,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 6110$$

$$937,12 < I_{\gg} < 4888$$

$$\frac{937,12}{750/5} < \text{Tap} < \frac{4888}{750/5}$$

$$6,24746667 < \text{Tap} < 32,586667$$

(range : 0,5 to 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 30

Iset = 4500 A

Time Delay

Dipilih Time delay = 0,3 s

Relay 7

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SJ64
FLA TR-29B : 336,8 A
Curve Type : *Extremely Inverse*
CT Ratio : 400 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &< \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 336,8 &< \text{Iset} < 1,4 \times 336,8 \\353,64 &< \text{Iset} < 471,52 \\ \frac{353,64}{400/5} &< \text{Tap} < \frac{471,52}{400/5} \\4,4205 &< \text{Tap} < 5,894\end{aligned}$$

(range : 0,5 sampai 20 A, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 4,43

Iset = 354,4 A

Time dial

Waktu operasi = 0,3 s

$$\begin{aligned}t &= \left(\left(\frac{5,64}{(M^2) - 1} \right) + 0,02434 \right) * TD \\t &= \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{I_{scmax}}{I_{pickup}} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD \right. \\0,3 &= \left(\left(\frac{5,64}{\left(\left(\frac{46950}{354,4} \right)^2 - 1 \right)} + 0,02434 \right) * TD\end{aligned}$$

$$TD = 12,1648$$

(range 0.05 sampai 15 s, dengan step 0.01 s)

time dial = 12,17 s

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min. SWGR A3}$$

$$1,6 \times 336,8 < I_{\gg} < 0,8 \times 17370$$

$$538,88 < I_{\gg} < 13896$$

$$\frac{538,88}{400/5} < \text{Tap} < \frac{13896}{400/5}$$

$$6,736 < \text{Tap} < 173,7$$

(range : 0,5 sampai 175 A, dengan step 0,01 A)

Dipilih tap = 88

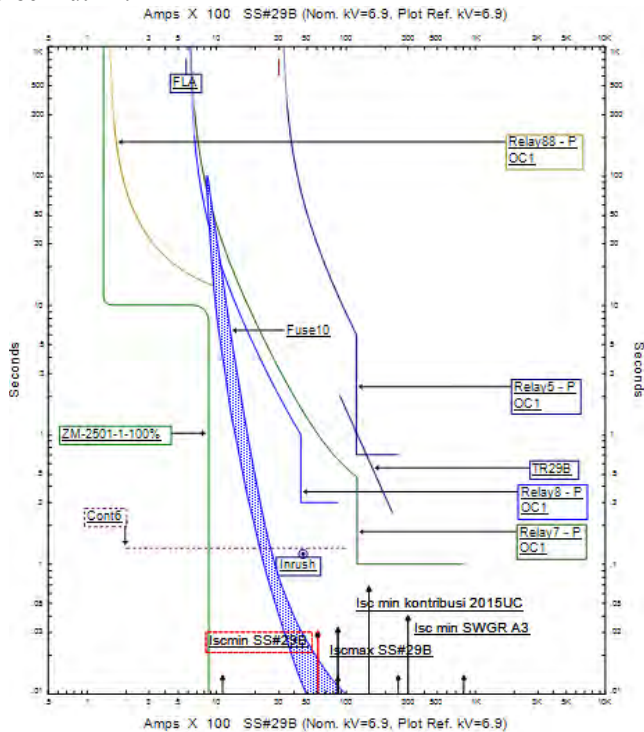
Iset = 7040 A

Time delay = 0,1 s

Relay 5

Sama seperti di tipikal 3

Dari perhitungan parameter rele pada tipikal 5 didapatkan *Time-Current Curve* berikut ini:



Gambar 4.15 Time-current curve tipikal 5

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah digunakan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Pada koordinasi arus lebih gangguan ke tanah, parameter yang digunakan hanya *Instantaneous pickup* dan *time delay* saja. Besarnya arus lebih gangguan ke tanah sangat dipengaruhi oleh NGR yang dipasang karena arus hubung singkat ke tanah maksimal sama dengan NGR yang dipasang. Sedangkan apabila *grounding* trafonya berupa *solid grounded*, besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah hampir sama dengan besarnya arus hubung singka 3 fasa sehingga setting rele gangguan ke tanah disamakan dengan setting rele fasa.

Sistem kelistrikan eksisting pada PT PERTAMINA RU III Pelaju adalah radial dengan tiga level tegangan utama, yaitu 12 kV, 6,9 kV dan 0,4 kV. Sedangkan pentanahan yang digunakan adalah seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Tingkat tegangan dan pentanahan peralatan

No	Peralatan	Rating Tegangan	Hubungan Belitan	Pentanahan
1	Generator 2015UA	12 kV	Bintang	NGR 200 A
2	Generator 2015UC	12 kV	Bintang	NGR 200 A
3	Transformator TR-9	12/6,9 kV	Delta-Bintang	NGR 100 A
4	Transformator TR-14A	12/6,9 kV	Delta-Bintang	NGR 200 A
5	Transformator TR-28B	12/6,9 kV	Delta-Bintang	NGR 400 A
6	Transformator TR29B	12/6,9 kV	Delta-Bintang	NGR 400 A
7	Transformator SG-TR01A	12/6,9 kV	Delta-Bintang	NGR 400 A
8	Transformator TR33	6,9/0,4	Delta-Bintang	Solid
9	Transformator SG-TR05B	6,6/0,38 kV	Delta-Bintang	Solid

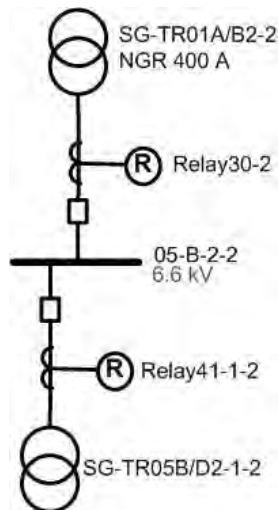
Dengan konfigurasi sistem seperti ini mengakibatkan koordinasi peralatan pengaman arus gangguan ke tanah dapat dipisahkan pada tiap level tegangan, karena jika terjadi gangguan pada satu level tegangan tertentu, pengaman yang berada pada satu feeder dengan tegangan berbeda tidak akan merasakan gangguan.

4.5.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 3

Pada tipikal 3, di tengah jalur terdapat trafo SG-TR01A/B2-2 yang memiliki konfigurasi delta-Wye Resistor, sehingga tipikal 3 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari trafo SG-TR05B/D2-1-2 sampai trafo SG-TR01A/B2-2. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay41-1-2 dan Relay30-2. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo SG-TR01A/B3-2 yaitu 400 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 3 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Rangkaian tipikal 3
ground fault zona 1

Perhitungan parameter dari Relay41-1-2 dan Relay30-2 adalah sebagai berikut.

Relay 41-1-2

Manufacturer : Siemens
Model : 7SJ64
CT Ratio : 100 / 5
Isc L-G : 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{100/5} < \text{Tap} < \frac{200}{100/5}$$

$$2 < \text{Tap} < 10$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 3

$I_{set} = 60 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1 s

Relay 30-2

Manufacturer : Siemens
Model : 7SJ64
CT Ratio : 750 / 5
Isc L-G : 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{750/5} < \text{Tap} < \frac{200}{750/5}$$

$$0,26667 < \text{Tap} < 1,33333$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

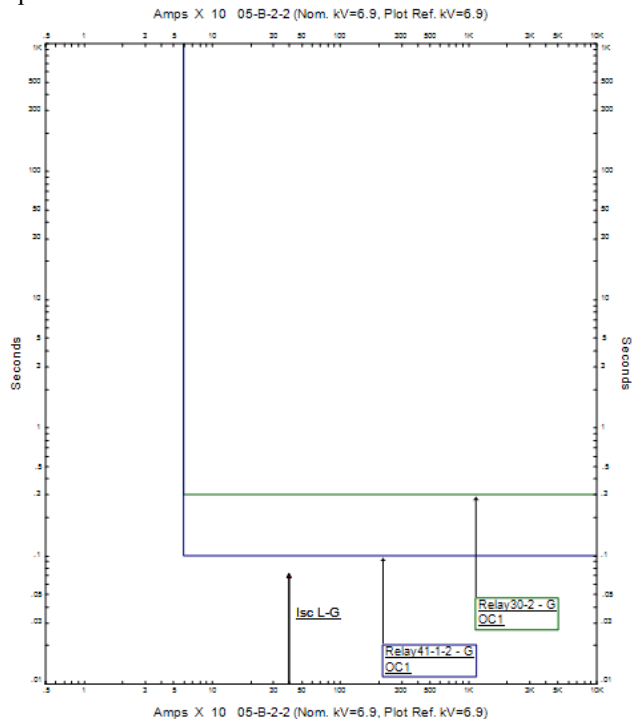
Dipilih tap = 0,4

Iset = 60 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3 s

Dari perhitungan parameter di atas didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada Gambar 4.17.

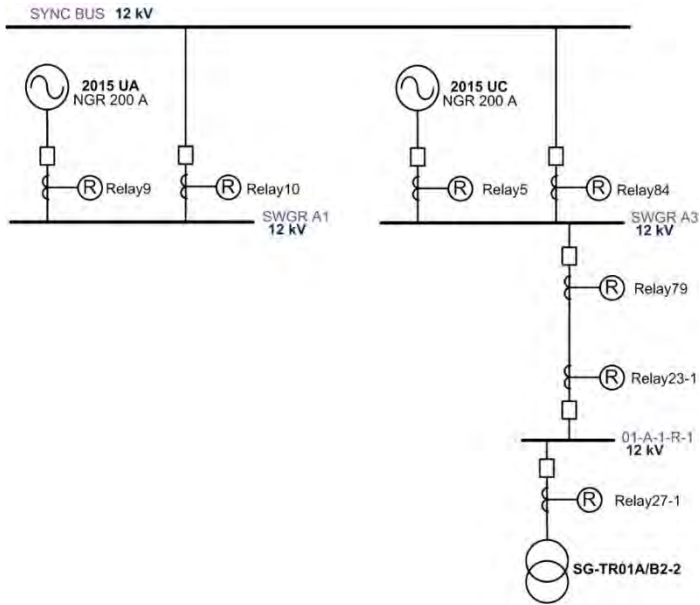


Gambar 4.17 *Time-current curve* tipikal 3 ground fault zona 1

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo SG-TR01A/B2-2 sampai ke generator. Pada zona ini terdapat 7 rele, yaitu Relay27-1, Relay23-1, Relay79, Relay84, Relay5, Relay10 dan Relay9. Untuk Relay5 dan Relay9, besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di masing-masing generator, yaitu 200 Ampere. Sedangkan untuk rele yang lain besarnya arus hubung singkat

satu fasa ke tanah adalah penjumlahan dari NGR yang terpasang pada kedua generator tersebut. Gambar rangkaian tipikal 3 zona 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Rangkaian tipikal 3 *ground fault* zona 2

Dan berikut ini perhitungan untuk mendapatkan nilai *Instantaneous pickup* dan *time delay* pada rele di tipikal 3 zona 2.

Relay 27-1

Manufacturer : Siemens
Model : 7SJ64
CT Ratio : 600 / 5
Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{600/5} < \text{Tap} < \frac{200}{600/5}$$

$$0,3333 < \text{Tap} < 1,6667$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 1

Iset = 120 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1 s

Relay 23-1

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 1500 / 5

Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 400 < \text{Iset} < 50\% \times 400$$

$$40 < \text{Iset} < 200$$

$$\frac{40}{1500/5} < \text{Tap} < \frac{200}{1500/5}$$

$$0,1333 < \text{Tap} < 0,6667$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 0,4

Iset = 120 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3 s

Relay 79

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 1500 / 5

Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{1500/5} < Tap < \frac{200}{1500/5}$$

$$0,1333 < Tap < 0,6667$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 0,4

$I_{set} = 120 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3 s

Relay 84

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 2500 / 5

Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{2500/5} < Tap < \frac{200}{2500/5}$$

$$0,08 < Tap < 0,4$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 0,25

$I_{set} = 125 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.5 s

Relay 5

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 2500 / 5

Isc L-G : 200 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{2500/5} < \text{Tap} < \frac{100}{2500/5}$$

$$0,04 < \text{Tap} < 0,2$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Pada kasus ini, tidak ada tap yang dapat memenuhi range dari relay. Oleh karena itu, disarankan untuk menambah current transformer untuk ground dengan rasio 100/5 yang dipasang secara Z CT. Dengan menambah CT untuk ground dengan rasio 100/5 maka perhitungannya akan menjadi seperti di bawah ini :

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 200 < I_{set} < 50\% \times 200$$

$$20 < I_{set} < 100$$

$$\frac{20}{100/5} < \text{Tap} < \frac{100}{100/5}$$

$$1 < \text{Tap} < 5$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

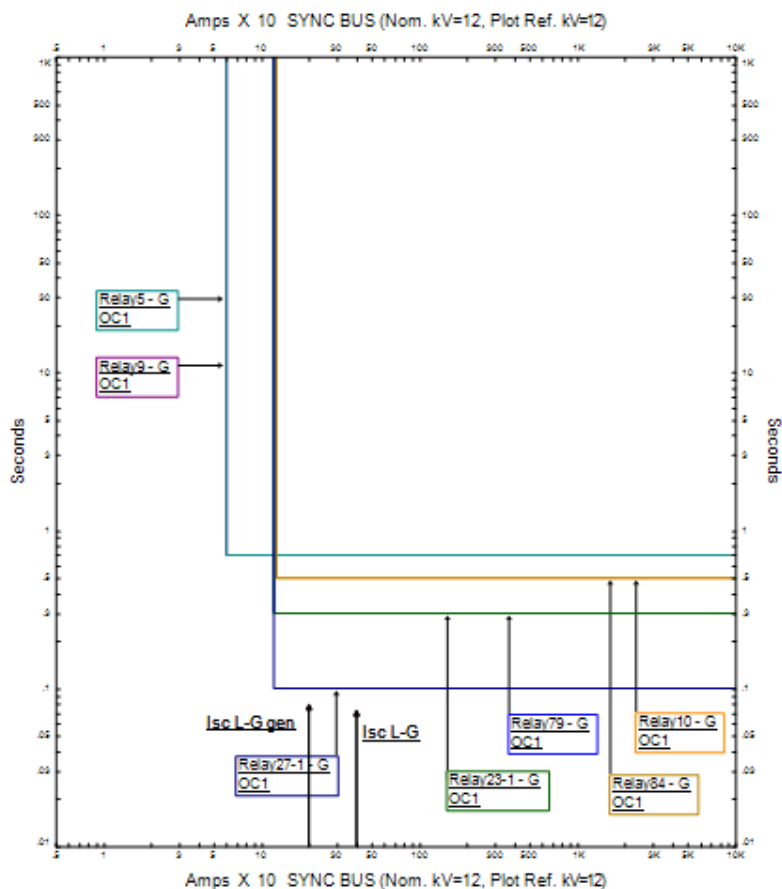
Dipilih tap = 3

$I_{set} = 60 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.7 s

Dari perhitungan parameter-parameter pada tipikal 3 *ground fault* zona 2 didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada Gambar 4.19.



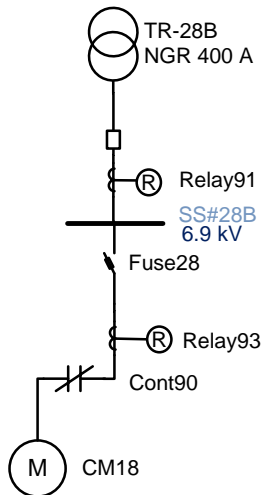
Gambar 4.19 Time-current curve tipikal 3 ground fault zona 2

4.5.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 4

Pada tipikal 4, di tengah jalur terdapat trafo TR-28B yang memiliki konfigurasi delta-Wye Resistor, sehingga tipikal 4 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari Motor CM18 sampai trafo TR-28B. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay93 dan Relay91. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo TR-28B yaitu 400 Ampere. Gambar rangkaian tipikal 4 zona 1 ditunjukkan oleh Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Rangkaian tipikal 4
ground fault zona 1

Dan berikut perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter yang dibutuhkan :

Relay 93

<i>Manufacturer</i>	: Siemens
<i>Model</i>	: 7SJ64
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 5
<i>Isc L-G</i>	: 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$
$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{50/5} < Tap < \frac{200}{50/5}$$

$$4 < Tap < 20$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 8

$I_{set} = 80 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1 s

Relay 91

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 400 / 5

Isc L-G : 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{400/5} < Tap < \frac{200}{400/5}$$

$$0,5 < Tap < 2,5$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

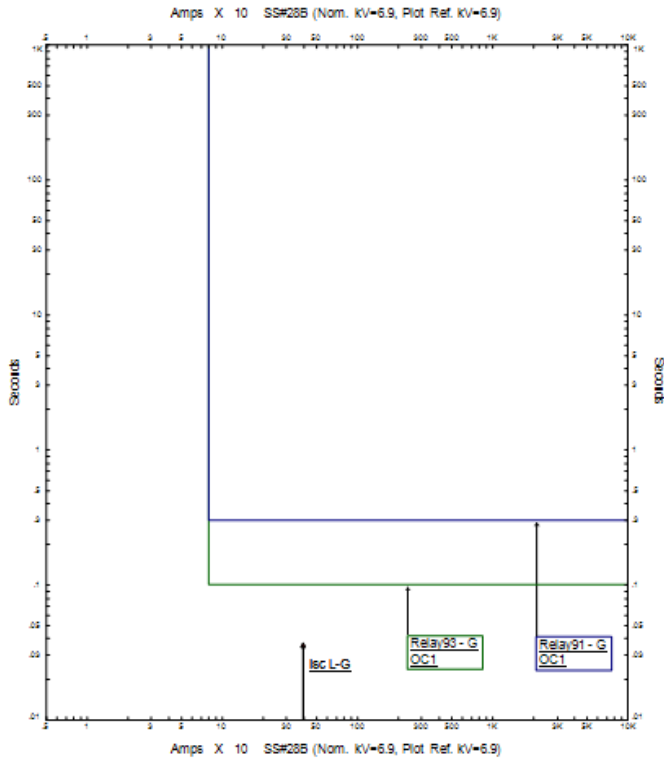
Dipilih tap = 1

$I_{set} = 80 \text{ A}$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1 s

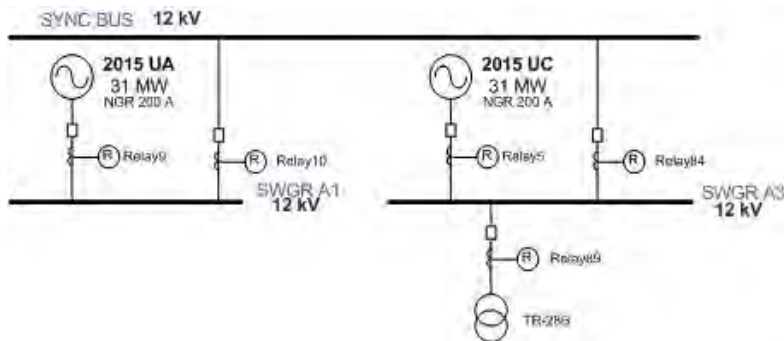
Dari perhitungan parameter-parameter pada tipikal 4 ground fault zona 1 didapatkan *time-current curve* seperti tampak pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Time-current curve tipikal 4 ground fault zona 1

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo TR-28B sampai ke generator. Pada zona ini terdapat 5 rele, yaitu Relay89, Relay84, Relay5, Relay10 dan Relay9. Untuk perhitungannya cukup menghitung parameter dari Relay89 saja karena rele yang lain sudah dicari pada tipikal 3.



Gambar 4.22 Rangkaian tipikal 4 ground fault zona 2

Relay 89

Manufacturer : Siemens
 Model : 7SJ64
 CT Ratio : 200 / 5
 Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 400 < \text{Iset} < 50\% \times 400$$

$$40 < \text{Iset} < 200$$

$$\frac{40}{200/5} < \text{Tap} < \frac{200}{200/5}$$

$$1 < \text{Tap} < 5$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

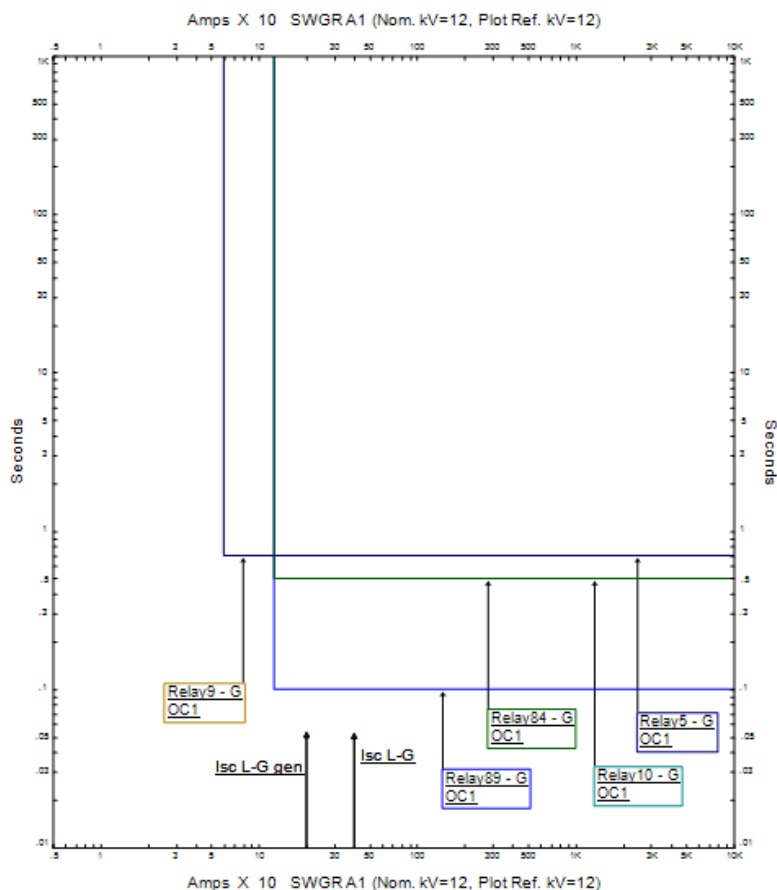
Dipilih tap = 3,12

Iset = 124,8 A

Time Delay

Dipilih time delay = 0.1 s

Sehingga didapatkan *time-current curve* yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



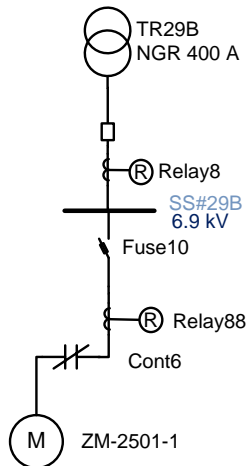
Gambar 4.23 Time-current curve Tipikal 4 ground fault zona 2

4.5.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Ke Tanah Tipikal 5

Pada tipikal 5, di tengah jalur terdapat trafo TR29B yang memiliki konfigurasi delta-Wye Resistor, sehingga tipikal 5 dapat dibagi menjadi 2 zona dimana kedua zona ini tidak saling berhubungan apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Zona 1

Zona 1 dimulai dari Motor ZM-2501-1 sampai trafo TR29B. Pada zona ini terdapat 2 rele, yaitu Relay88 dan Relay8. Besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah sama dengan besarnya NGR yang terpasang di trafo TR29B yaitu 400 Ampere. Gambar rangkaian untuk tipikal 5 zona 1 dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Rangkaian tipikal
5 ground fault zona 1

Relay 88

Manufacturer : Siemens
Model : 7SJ64
CT Ratio : 150 / 5
Isc L-G : 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned} 10\% \times \text{Isc L-G} &\leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G} \\ 10\% \times 400 &< \text{Iset} < 50\% \times 400 \\ 40 &< \text{Iset} < 200 \\ \frac{40}{150/5} &< \text{Tap} < \frac{200}{150/5} \\ 1,3333 &< \text{Tap} < 6,6667 \end{aligned}$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

Dipilih tap = 2

Iset = 60 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1 s

Relay 8

Manufacturer : Siemens

Model : 7SJ64

CT Ratio : 750 / 5

Isc L-G : 400 A (6,9 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$10\% \times 400 < I_{set} < 50\% \times 400$$

$$40 < I_{set} < 200$$

$$\frac{40}{750/5} < \text{Tap} < \frac{200}{750/5}$$

$$0,2667 < \text{Tap} < 1,3333$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

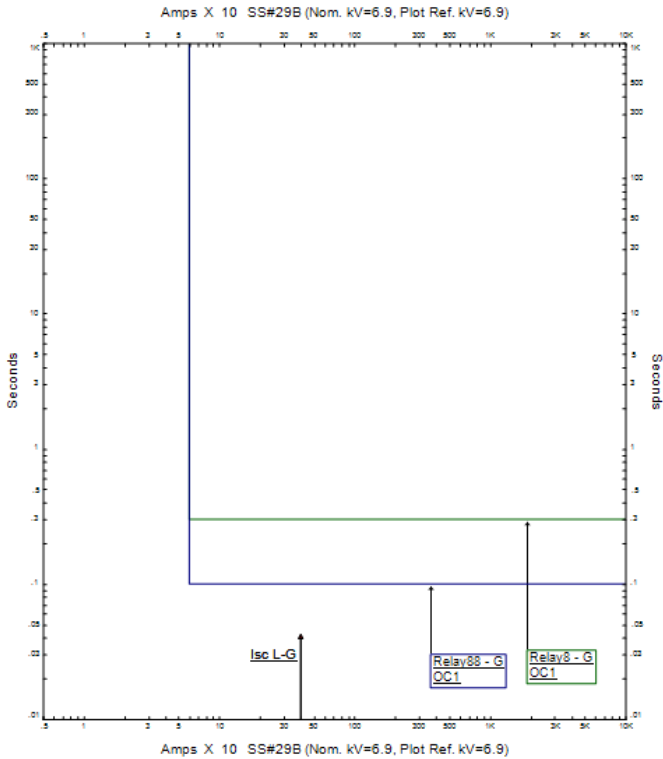
Dipilih tap = 0,4

Iset = 60 A

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.3 s

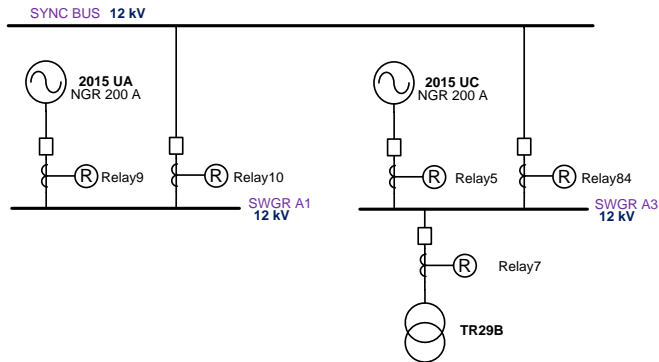
Dari perhitungan tipikal 5 *ground fault* zona 2 didapatkan *time-current curve* yang ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Time-current curve tipikal 5 ground fault zona 1

Zona 2

Zona 2 dimulai dari trafo TR29B sampai ke generator. Pada zona ini terdapat 5 rele, yaitu Relay7, Relay84, Relay5, Relay10 dan Relay9. Untuk perhitungannya cukup menghitung parameter dari Relay7 saja karena rele yang lain sudah dicari pada tipikal 3.



Gambar 4.26 Rangkaian tipikal 5 ground fault zona 2

Relay 7

Manufacturer : Siemens
 Model : 7SJ64
 CT Ratio : 400 / 5
 Isc L-G : 400 A (12 kV)

Instantaneous Pickup

$$10\% \times \text{Isc L-G} \leq \text{Iset} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$10\% \times 400 < \text{Iset} < 50\% \times 400$$

$$40 < \text{Iset} < 200$$

$$\frac{40}{400/5} < \text{Tap} < \frac{200}{400/5}$$

$$0,5 < \text{Tap} < 2,5$$

(range 0.25 sampai 175 A, dengan step 0.01 A)

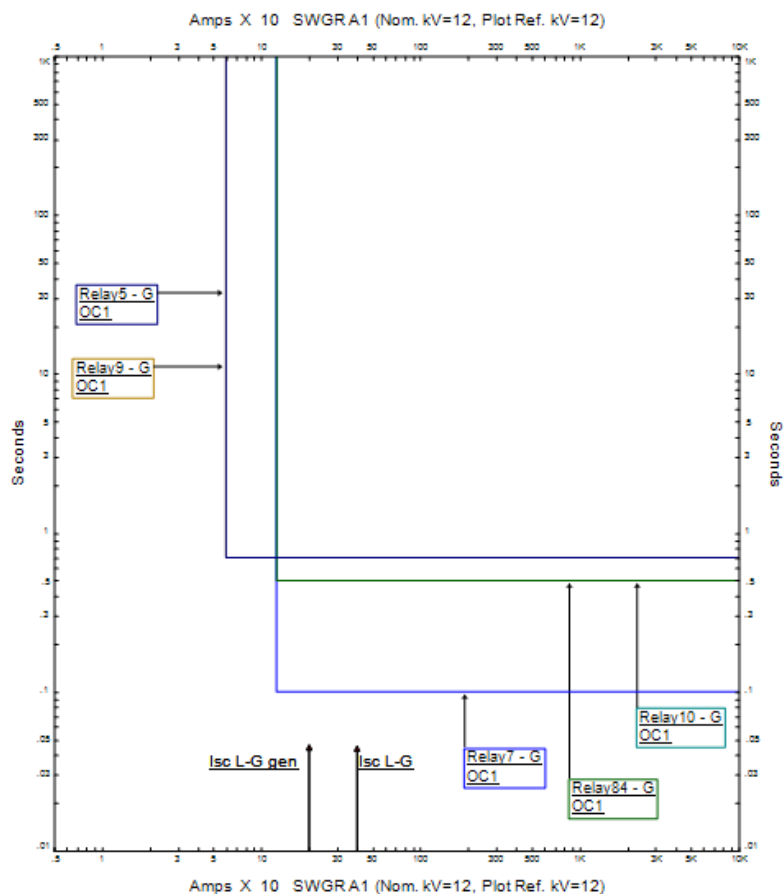
Dipilih tap = 1,56

Iset = 124,8 A

Time Delay

Dipilih time delay = 0.1 s

Dari perhitungan tipikal 5 zona 2 didapatkan *time-current curve* yang ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Time-current curve tipikal 5 ground fault zona 2

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengaman pada PT. Pertamina RU III Plaju yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada *setting* rele eksisting, tidak ada *setting time delay*, rele bekerja secara instan tanpa ada *grading time*. Hal ini akan membuat beberapa rele bekerja secara bersamaan jika terjadi gangguan hubung singkat. Menurut standar IEEE 242, *grading time* untuk rele elektromekanik adalah 0,3 s s/d 0,4 s. Sedangkan untuk rele berbasis mikroprosesor *grading timenya* adalah 0,2 s s/d 0,3 s.
2. *Setting ground fault* pada Relay5 dan relay9 tidak dapat disetting dengan tepat karena rasio CT terlalu besar, yaitu 2500/5 dan arus hubung singkat *line to groundnya* sebesar 0,2 kA. Sehingga *setting* seharusnya adalah $0,04 \leq I_{set} \leq 0,2$, sedangkan *range* dari pickup rele adalah 0,25 sampai 175.
3. Relay10 dan Relay84 disetting dengan *time delay* 0,5 s sedangkan Relay9 dan Relay5 disetting dengan *time delay* 0,7 s. Rele pada Sync bus disetting dengan *time delay* yang lebih rendah dari pada rele pada generator agar ketika terjadi gangguan pada sync bus maka aliran daya dari generator tidak terputus sehingga generator tetap bisa menyuplai daya ke beban.
4. *Time delay* dari Relay63 cukup lama yaitu 1,1 sekon. Hal ini dikhawatirkan dapat merusak peralatan karena menerima arus gangguan dalam waktu yang cukup lama.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisis, perhitungan parameter rele dan hasil simulasi yang telah dilakukan maka penulis menyarankan hal-hal berikut :

1. Memasang *Zone Selective Interlocking (ZSI)* pada relay78, relay77, relay72, relay69, relay68, relay65, relay64 dan relay63 agar ketika terjadi gangguan maka rele di atasnya akan memutus dengan *time delay* 0,1 sekon.

2. Menambahkan Z CT pada Relay5 dan Relay9 agar rele dapat disetting dengan tepat sehingga dapat mengamankan gangguan hubung singkat ke tanah dengan baik.
3. Menambahkan Z CT pada semua rele *ground fault* untuk menambah selektifitas.
4. Melakukan studi *arcflash* untuk menyempurnakan keamanan dari jaringan kelistrikan pabrik.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *setting* koordinasi rele pengamanan pada PT. Pertamina RU III Plaju yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada *setting* rele eksisting, tidak ada *setting time delay*, rele bekerja secara instan tanpa ada *grading time*. Hal ini akan membuat beberapa rele bekerja secara bersamaan jika terjadi gangguan hubung singkat. Menurut standar IEEE 242, *grading time* untuk rele elektromekanik adalah 0,3 s s/d 0,4 s. Sedangkan untuk rele berbasis mikroprosesor *grading timenya* adalah 0,2 s s/d 0,3 s.
2. *Setting ground fault* pada Relay5 dan relay9 tidak dapat disetting dengan tepat karena rasio CT terlalu besar, yaitu 2500/5 dan arus hubung singkat *line to groundnya* sebesar 0,2 kA. Sehingga *setting* seharusnya adalah $0,04 \leq I_{set} \leq 0,2$, sedangkan *range* dari pickup rele adalah 0,25 sampai 175.
3. Relay10 dan Relay84 disetting dengan *time delay* 0,5 s sedangkan Relay9 dan Relay5 disetting dengan *time delay* 0,7 s. Rele pada Sync bus disetting dengan *time delay* yang lebih rendah dari pada rele pada generator agar ketika terjadi gangguan pada sync bus maka aliran daya dari generator tidak terputus sehingga generator tetap bisa menyuplai daya ke beban.
4. *Time delay* dari Relay63 cukup lama yaitu 1,1 sekon. Hal ini dikhawatirkan dapat merusak peralatan karena menerima arus gangguan dalam waktu yang cukup lama.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisis, perhitungan parameter rele dan hasil simulasi yang telah dilakukan maka penulis menyarankan hal-hal berikut :

1. Memasang *Zone Selective Interlocking (ZSI)* pada relay78, relay77, relay72, relay69, relay68, relay65, relay64 dan relay63 agar ketika terjadi gangguan maka rele di atasnya akan memutus dengan *time delay* 0,1 sekon.

2. Menambahkan Z CT pada Relay5 dan Relay9 agar rele dapat disetting dengan tepat sehingga dapat mengamankan gangguan hubung singkat ke tanah dengan baik.
3. Menambahkan Z CT pada semua rele *ground fault* untuk menambah selektifitas.
4. Melakukan studi *arcflash* untuk menyempurnakan keamanan dari jaringan kelistrikan pabrik.

[illegible]

Daftar Pustaka

- [1] IEEE Std 242-2001™, “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 15, 2001.
- [2] Lazar, Irwin. “Electrical Systems Analysis and Design for Industrial Plants”, McGraw-Hill, Inc, 1980
- [3] Anderson, P.M, “Power System Protection”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998.
- [4] Saadat, H., “Power System Analysis”, McGraw-Hill, Inc, 1999
- [5] Ir R.Wahyudi. "Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik", Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [6] Penangsang, Ontoseno. “Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga Listrik 2”, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [7] IEEE Std C37.112-1996, “IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Abdulloh Iskandar, lahir di Lamongan pada tanggal 24 Mei 1993. Penulis merupakan anak bungsu dari pasangan Akhmad Nasukha dan Umama (Alm.). Penulis mulai memasuki pendidikan sekolah dasar pada tahun 1998 di MI Al-Musthofa Mojokerto. Pada tahun 2004 penulis melanjutkan sekolah di SMPN 2 Jetis Mojokerto. Pada tahun 2007 penulis melanjutkan studi di SMAN 1 Sooko. Selama sekolah penulis telah aktif di organisasi dan terpilih sebagai ketua ekstra kulikuler karate di SMA. Dari ekskul yang diikuti penulis juga telah menorehkan prestasi di beberapa kejuaraan tingkat kabupaten dan provinsi. Pada tahun 2010 penulis mulai memasuki jenjang pendidikan tinggi. Penulis memilih studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Jurusan Teknik Elektro. Selama kuliah di ITS, penulis juga aktif di beberapa organisasi, diantaranya sebagai staf DIKESMA HIMATEKTRO ITS, ketua KALAM dan koordinator FSLDJ wilayah FTI Pusat JMMI-ITS. Selain itu, penulis juga aktif sebagai asisten di Laboratorium Instrumentasi, Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Selama kuliah penulis juga pernah bekerja sebagai surveyor PLN dan bekerja di PT. Mitra Jaringan Group. Penulis dapat dihubungi melalui email : abdulloh.iskandar@gmail.com.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)